

PCT

WORLD INTELLECTUAL PROPERTY ORGANIZATION
International Bureau



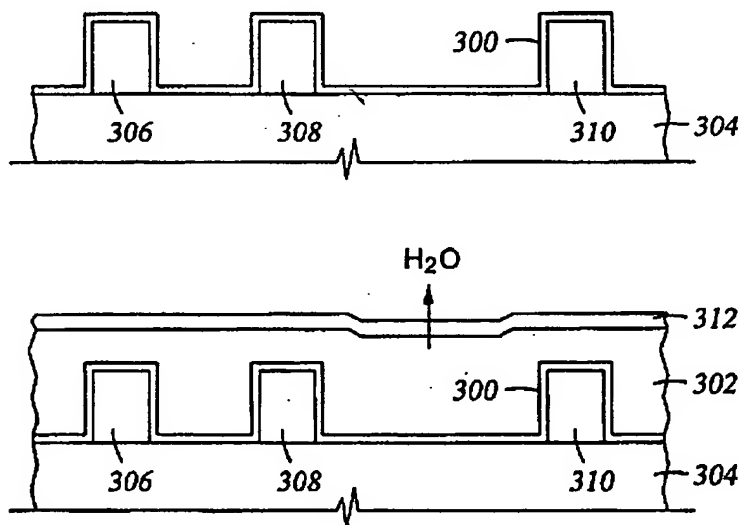
INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(51) International Patent Classification ⁶ : C23C		A2	(11) International Publication Number: WO 99/41423
			(43) International Publication Date: 19 August 1999 (19.08.99)
(21) International Application Number: PCT/US99/02903		(72) Inventors: CHEUNG, David; 235 Billingsgate Lane, Foster City, CA 94404 (US). YAU, Wai-Fan; 1568 Grete Lane, Mountain View, CA 94040 (US). MANDAL, Robert, P.; 12472 Arroyo De Arguello, Saratoga, CA 95070 (US). JENG, Shin-Puu; 20804 Dunbar Drive, Cupertino, CA 95014 (US). LIU, Kuo-Wei; 163 N. San Tomas Aquino Road, Campbell, CA 95008 (US). LU, Yung-Cheng; 3671 Greenlee Drive #3, San Jose, CA 95117 (US). BARNES, Mike; 12215 Santa Teresa Drive, San Ramon, CA 94583 (US). WILLECKE, Ralf, B.; 2250 Monroe Street #336, Santa Clara, CA 95050 (US). MOGHADAM, Farhad; 276 Old Adobe Road, Los Gatos, CA 95030 (US). ISHIKAWA, Tetsuya; 873 Blossom Drive, Santa Clara, CA 95050 (US). POON, Tze; 1267 Lakeside Drive #2077, Sunnyvale, CA 94086 (US).	
(22) International Filing Date: 10 February 1999 (10.02.99)			
(30) Priority Data: 09/021,788 11 February 1998 (11.02.98) US 09/114,682 13 July 1998 (13.07.98) US 09/162,915 29 September 1998 (29.09.98) US 09/185,555 4 November 1998 (04.11.98) US			
(71) Applicant: APPLIED MATERIALS, INC. [US/US]; 3050 Bowers Avenue, Santa Clara, CA 95054 (US).		(74) Agent: TACKETT, Keith, M.; Patterson & Associates, Suite 1500, 3040 Post Oak Boulevard, Houston, TX 77056 (US).	
		(81) Designated States: JP, KR, SG, European patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).	
		Published Without international search report and to be republished upon receipt of that report.	

(54) Title: PLASMA PROCESSES FOR DEPOSITING LOW DIELECTRIC CONSTANT FILMS

(57) Abstract

A method and apparatus for depositing a low dielectric constant film by reaction of an organosilicon compound and an oxidizing gas at a constant RF power level from about 10W to about 200W or a pulsed RF power level from about 20W to about 500W. Dissociation of the oxidizing gas can be increased prior to mixing with the organosilicon compound, preferably within a separate microwave chamber, to assist in controlling the carbon content of the deposited film. The oxidized organosilane or organosiloxane film has good barrier properties for use as a liner or cap layer adjacent other dielectric layers. The oxidized organosilane or organosiloxane film may also be used as an etch stop and an intermetal dielectric layer for fabricating dual damascene structures. The oxidized organosilane or organosiloxane films also provide excellent adhesion between different dielectric layers. A preferred oxidized organosilane film is produced by reaction of methylsilane, CH_3SiH_3 , dimethylsilane, $(\text{CH}_3)_2\text{SiH}_2$, or 1,1,3,3-tetramethyl-disiloxane, $(\text{CH}_3)_2\text{-SiH-O-SiH-(CH}_3)_2$, and nitrous oxide, N_2O , at a constant RF power level from about 10W to about 150W, or a pulsed RF power level from about 20W to about 250W during 10 % to 30 % of the duty cycle.



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公表特許公報 (A)

(11) 特許出願公表番号

特表2002-503879^V

(P2002-503879A)

(43) 公表日 平成14年2月5日(2002.2.5)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テームト* (参考)
H 0 1 L 21/316		H 0 1 L 21/316	4 K 0 3 0
C 2 3 C 16/40		C 2 3 C 16/40	5 F 0 5 8

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 60 頁)

(21) 出願番号 特願2000-531599(P2000-531599)
 (86) (22) 出願日 平成11年2月10日(1999.2.10)
 (85) 翻訳文提出日 平成12年8月10日(2000.8.10)
 (86) 国際出願番号 PCT/US99/02903
 (87) 国際公開番号 WO99/41423
 (87) 国際公開日 平成11年8月19日(1999.8.19)
 (31) 優先権主張番号 09/021, 788
 (32) 優先日 平成10年2月11日(1998.2.11)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)
 (31) 優先権主張番号 09/114, 682
 (32) 優先日 平成10年7月13日(1998.7.13)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

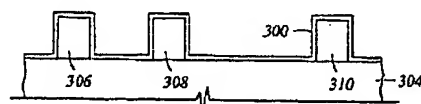
(71) 出願人 アプライド マテリアルズ インコーポレイテッド
 APPLIED MATERIALS, INCORPORATED
 アメリカ合衆国 カリフォルニア州
 95054 サンタ クララ パウアーズ アベニュー 3050
 (72) 発明者 チェン, デヴィッド
 アメリカ合衆国, カリフォルニア州,
 フォスター シティ, ビリングスゲイト
 レーン 235
 (74) 代理人 弁理士 長谷川 芳樹 (外1名)

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 低誘電率膜を堆積するためのプラズマ処理方法

(57) 【要約】

約10Wから約200Wの一定のRFパワーレベルか、または約20Wから約500WのパルスRFパワーレベルで、オルガノシリコン化合物と酸化ガスを反応させて、低誘電率の膜を堆積するための方法および装置を提供する。オルガノシリコン化合物と混合させる前に酸化ガスの解離を高めることで、堆積された膜の炭素含有量を制御しやすくなる。酸化オルガノシランまたはオルガノシロキサン膜は、他の誘電体層に隣接するライナまたはキャップ層として使用するためのバリア特性が良好である。酸化オルガノシランまたはオルガノシロキサン膜はまた、デュアルダマシ構造を製造するためのエッチングストップおよび金属間誘電体層として使用されてもよい。酸化オルガノシランまたはオルガノシロキサン膜はまた、異なる誘電体層間に優れた密着性をもたらす。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 約10Wから約200Wの一定RFパワーレベルか、または約20Wから約500WのパルスRFパワーレベルで、炭素を含む1以上のシリコン化合物と酸化ガスを反応させる工程を含む低誘電率フィルムの堆積処理方法。

【請求項2】 各シリコン化合物にある各シリコン原子が、1個以上の炭素原子および少なくとも1個の水素原子に結合され、同じ分子中にある2個以上のシリコン原子が、2個の炭素原子のみか、または1個の酸素原子のみにより分離される請求項1に記載の処理方法。

【請求項3】 シリコン化合物が、メチルシラン、ジメチルシラン、トリメチルシラン、ジシランメタン、ビス(メチルシラン)メタン、1,2-ジシランエタン、1,2-ビス(メチルシラン)エタン、2,2-ジシランプロパン、1,3,5-トリシラン-2,4,6-トリメチレン、1,3-ジメチルジシロキサン、1,1,3,3-テトラメチルジシロキサン、1,3-ビス(シランメチレン)ジシロキサン、ビス(1-メチルジシロキサニル)メタン、2,2-ビス(1-メチルジシロキサニル)プロパン、2,4,6,8,10-ペンタメチルシクロペンタシロキサン、1,3,5,7-テトラシラン-2,6-ジオキシ-4,8-ジメチレン、2,4,6-トリシランテトラヒドロピラン、2,5-ジシランテトラヒドロフラン、それらのフッ化炭素誘導体、およびそれらの組合せからなる群から選択される請求項1に記載の処理方法。

【請求項4】 酸化ガスが、シリコン化合物と混合する前に解離される請求項1に記載の処理方法。

【請求項5】 約10Wから約200Wの一定RFパワーレベルか、または約20Wから約500WのパルスRFパワーレベルで、1以上のシリコン化合物と酸化ガスからなるプロセスガスから、パターン化された金属層上にコンフォーマルライニング層を堆積する工程と、

前記ライニング層上にギャップ充填層を堆積させる工程と

を含む低誘電率膜の堆積処理方法。

【請求項6】 各シリコン化合物にある各シリコン原子が、1個以上の炭素

原子および少なくとも1個の水素原子に結合され、同じ分子中にあるシリコン原子が、3個以上の炭素原子か、または2個以上の酸素原子より分離されない請求項5に記載の処理方法。

【請求項7】 シリコン化合物が、メチルシラン、ジメチルシラン、トリメチルシラン、ジシラノメタン、ビス(メチルシラノ)メタン、1,2-ジシラノエタン、1,2-ビス(メチルシラノ)エタン、2,2-ジシラノプロパン、1,3,5-トリシラノ-2,4,6-トリメチレン、1,3-ジメチルジシロキサン、1,1,3,3-テトラメチルジシロキサン、1,3-ビス(シラノメチレン)ジシロキサン、ビス(1-メチルジシロキサニル)メタン、2,2-ビス(1-メチルジシロキサニル)プロパン、2,4,6,8,10-ペンタメチルシクロペンタシロキサン、1,3,5,7-テトラシラノ-2,6-ジオキシ-4,8-ジメチレン、2,4,6-トリシランテトラヒドロピラン、2,5-ジシランテトラヒドロフラン、それらのフッ化炭素誘導体、およびそれらの組合せからなる群から選択される請求項5に記載の処理方法。

【請求項8】 酸化ガスが、シリコン化合物と混合する前に解離される請求項5に記載の処理方法。

【請求項9】 ギャップ充填層が、シラノ含有化合物と過酸化水素を反応させることにより堆積される請求項5に記載の処理方法。

【請求項10】 シリコン化合物と酸化ガスからなるプロセスガスから、ギャップ充填層上にキャップ層を堆積する工程をさらに含む請求項5に記載の処理方法。

【請求項11】 反応ゾーン、前記反応ゾーンに基板を位置付ける基板ホルダ、および真空システムを備える容器と、

前記容器の反応ゾーンを、1以上のオルガノシリコン化合物と酸化ガスの供給源に結合するガス分配システムと、

前記反応ゾーンにプラズマを発生するためのガス分配システムに結合されたRF発生器と、

前記容器、前記ガス分配システム、および前記RF発生器を制御するためのコンピュータを備えるコントローラと、

前記コントローラに結合されるメモリであって、約10Wから約200Wの一定RFパワーレベルか、または約20Wから約500WのパルスRFパワーレベルで、1以上のオルガノシリコン化合物と酸化ガスを反応させる工程を備えるプロセスを選択するためのコンピュータ読取り可能プログラムコードを備えたコンピュータ使用可能媒体からなるメモリと

を備える基板処理システム。

【請求項12】 デュアルダマシン構造を堆積するためのコンピュータ読取り可能プログラムコードをさらに備える請求項11に記載の基板処理システム。

【請求項13】 反応ゾーン、前記反応ゾーンに基板を位置付ける基板ホルダ、および真空システムを備える容器と、

前記容器の反応ゾーンを、1以上のオルガノシリコン化合物と酸化ガスの供給源に結合するガス分配システムと、

前記反応ゾーンをオルガノシリコン化合物の供給源に結合するマイクロ波チャンバと、

前記反応ゾーンにプラズマを発生するためのガス分配システムに静電結合されたRF発生器と、

前記容器、前記ガス分配システム、および前記RF発生器を制御するためのコンピュータを備えるコントローラと、

前記コントローラに結合されるメモリであって、約10Wから約200Wの一定RFパワーレベルか、または約20Wから約500WのパルスRFパワーレベルで、オルガノシリコン化合物と酸化ガスからなるプロセスガスから炭素含有の誘電体層を堆積する工程を含むプロセスを選択するためのコンピュータ読取り可能プログラムコードを備えたコンピュータ使用可能媒体からなるメモリと

を備える基板処理システム。

【請求項14】 オルガノシリコン化合物からなるプロセスガスから、誘電体層上にギャップ充填層を堆積し、前記ギャップ充填層上にキャップ層を堆積するためのコンピュータ読取り可能なプログラムコードをさらに備える請求項13に記載のシステム。

【請求項15】 1以上のオルガノシリコン化合物と酸化ガスを反応させる

ことによって、基板上に約 20 原子量%よりも多い炭素含有量を有するバイアレベルの誘電体膜を堆積させる工程と、

バイアを形成するために、前記バイアレベルの誘電体膜をパターンエッチングする工程と、

前記バイアレベルの誘電体膜上に、約 10 原子量%よりも少ない炭素含有量を有するトレンチレベルの誘電体膜を堆積する工程と、

水平方向の配線を形成するために、前記トレンチレベルの誘電体膜をパターンエッチングする工程と

を含むデュアルダマシン構造の形成方法。

【請求項 16】 酸化ガスが、オルガノシリコン化合物と混合する前に解離される請求項 15 に記載の処理方法。

【請求項 17】 1 以上の垂直方向の配線からなる第 1 の誘電体層と、
前記誘電体層に接触し、1 以上の水平方向の配線を画定する第 2 の誘電体層を備えるデュアルダマシン構造。

【請求項 18】 第 1 および第 2 の誘電体層の誘電率が異なる請求項 17 に記載の構造。

【請求項 19】 第 1 の誘電体層が、約 20 原子量%よりも多い炭素含有量を有する酸化オルガノシリコン化合物からなる請求項 18 に記載の構造。

【請求項 20】 第 2 の誘電体層が、約 10 原子量%よりも少ない炭素含有量を有する酸化オルガノシリコン化合物からなる請求項 19 に記載の構造。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、集積回路の製造に関する。さらに詳しくは、本発明は、基板上に誘電体層を堆積するための方法および装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

近年の主な半導体デバイス製造工程のうち、ガスを化学的に反応させて基板上に金属膜および誘電体膜を形成する工程がある。このような堆積プロセスは、化学気相成長もしくはCVDと呼ばれている。従来の熱CVDプロセスでは、反応ガスを基板表面に供給して、熱を誘導して化学反応を起こし、所望の膜を形成している。高温で動作させる熱CVDプロセスもあるため、この高温により事前に基板に形成されていた層を有するデバイス構造にダメージを与える可能性がある。比較的低温で金属および誘電体膜を堆積する好適な方法は、「酸化物シリコンを堆積するためにTEOSを用いるプラズマ強化形CVDプロセス (Plasma-Enhanced CVD Process Using TEOS for Depositing Silicon Oxide)」と題した米国特許第5,362,526号公報に記載されているようなプラズマ強化形CVD (PECVD) プロセス技術であり、この公報の内容全体は参照により本願明細書に引用したものとする。このプラズマ強化形CVD技術を用いると、高周波 (RF) エネルギーを基板表面付近の反応ゾーンに印加することで反応ガスを励起および／または分離しやすくなり、高度の反応性種のプラズマを形成することができる。このように種を分離させることで高反応性が得られると、化学反応を起こすさいに必要なエネルギー量も減少でき、PECVDプロセスに必要な温度を低下させることになる。

【0003】

半導体デバイスは、数十年前に最初に導入されて以来、その外形サイズが劇的に減少している。導入以来、集積回路は一般的に2年／0.5倍サイズルール (ムーアの法則としばしば呼ばれる) に従ってきており、言い換えれば、チップ上

に載せるデバイス数が2年毎に2倍になっているということである。今日の製造プラントでは、 $0.35\mu\text{m}$ 、さらには $0.18\mu\text{m}$ の特徴サイズのデバイスを日常的に生産しているが、近い将来、外形サイズがさらに小さいデバイスが製造プラントで生産されることになるであろう。

【0004】

集積回路上のデバイスサイズをさらに小型化するためには、抵抗率が低い値の導電材料と k （誘電率 <4.0 ）が低い値の絶縁体を用いて、隣接する金属ライン同士の静電結合を弱める必要がある。国際特許公開第WO94/01885号に記載されているように、導電材料と絶縁体との間にライナ／バリア層が使用されて、導電材料への水蒸気などの副生成物が拡散されないようにされてきた。例えば、低 k 絶縁体の形成中に水蒸気が発生する場合、この水蒸気が導電性の金属表面に容易に拡散して、この導電性の金属表面の抵抗率を上げてしまう。従来のシリコン酸化物材料またはシリコン窒化物材料から形成されたバリア／ライナ層は、副生成物の拡散を防ぐ効果がある。しかしながら、バリア／ライナ層の誘電率は、通常、 4.0 よりもかなり大きいものであり、誘電率が高いと、あまり誘電率を下げない組合せ絶縁体を生じることになる。

【0005】

図1Aは、国際特許公開第WO94/01885号公報に記載されているように、バリア／ライナ層を堆積するためのPECVDプロセスを示している。PECVDプロセスは、二酸化シリコン（ SiO_2 ）ライナ層2が、基板4上に形成された金属ライン3を有するパターン化された金属層上に最初に堆積される複合誘電体層を堆積する。このライナ層2は、 300°C でシラン（ SiH_4 ）と亜酸化窒素（ N_2O ）をプラズマを強化して反応させることによって堆積される。次いで、シラン化合物と過酸化化合物を反応させて、ライナ層2上に自己平坦化低 k 誘電体層5が堆積される。自己平坦化層5は硬化により取り出された水分を保持する。ライナ層2は、少なくとも誘電率が 4.5 になるように堆積される場合のバリア特性が有効な酸化シラン膜である。酸化シラン膜の誘電率は、膜の水分バリア特性を下げるようにプロセス条件を変えることによって、約 4.1 まで下げることが可能である。 SiN などの従来のライナ層の誘電率はさらに高く、低

k誘電体層と高k誘電体ライナ層とを組み合わせても、全体のスタックの誘電率および静電結合がほとんど改善されないか、もしくはまったく改善されない。

【0006】

図1Bに示されているように、国際特許公開第WO94/01885号公報には、シランと N_2O を反応させることによって、低k誘電体層5上に堆積させた任意の SiO_2 キャップ層6が示されている。キャップ層6も、誘電率が約4.5になるように堆積される場合のバリヤ特性が良好な酸化シラン膜を有する。これらのライナ層2とキャップ層6の誘電率が共に4.5を超えるものであり、誘電率が高い層では実質的に、低k誘電体層5の利点が得られない。

【0007】

デバイスの小型化が進むにつれ、ライナ層とキャップ層の誘電率が高いと、複合誘電体層の全体的な誘電率を上げてしまうことになる。さらに、周知の低k誘電体材料は、一般に、バイアおよび／または配線をエッチングする間、エッチングストップ層として作用するには酸化物の含量が不十分な少量しかない。シリコン窒化物は、低k誘電体材料に配線を形成するための良好なエッチングストップ材料であった。しかしながら、シリコン窒化物は、その周辺にある低k誘電体層と比較すると誘電率が比較的高い（誘電率が約7）ものである。また、シリコン窒化物は、他の低k誘電体材料が主要絶縁層として使用されている場合でさえ、配線間の静電結合をかなり高めてしまうこともある。これにより、クロストークおよび／または抵抗容量(RC)遅延が生じ、デバイス全体の特性を劣化させてしまうことがある。

【0008】

ライナ層として使用するための良好なバリヤ特性と、エッチングストップとして使用するための十分な酸化物含有量を兼ね備えた低k誘電体層が確認され、既存の低k誘電体材料と同じチャンバ内で堆積されることが理想的である。このようなバリヤ層であれば、誘電体層の全体の誘電率が上がらず、さらにこのようなエッチングストップ層は、下地層をエッチングした後に除去される必要がない。

【0009】

米国特許第5,554,570号公報には、シランの代わりにC-H基を有す

るオルガノシランを酸化して、堆積膜の密度を上げ、層間の密着性を高めるように熱CVDシリコン酸化物を用いたバリア層が記載されている。例えば、オルガノシリコンと N_2O または O_2 から形成したPECVDシリコン酸化物膜間に、テトラエトキシシラン (TEOS) とオゾンから形成した熱CVD層が堆積されてもよい。

【0010】

前述の‘570特許に記載されているバリア層は、炭素含有量が低い高密度シリコン酸化物層であることが好ましいとされている。膜応力を高めるには低周波数RF電力が用いられるが、この高密度層は、400Wの高周波RF電力を用いて堆積される。バリア層は、アルコキシシランまたは塩化アルキルシランおよび N_2O から形成されて、炭素含有量を低減させ、さらに層の密度を増大させることが好ましい。

【0011】

前述の‘570特許では、誘電率が低いバリア層を形成するためのプロセス条件や、酸化物含量が少ないエッチングストップ層を形成するためのプロセス条件が確認されていない。また、前述の‘570特許では、低 k 誘電体層に隣接するバリア層またはエッチングストップとして、前述した層を使用する提言もなされていない。

【0012】

サブミクロンデバイスにおいて、バリア層またはエッチングストップ層として用いるために、低誘電率、良好なバリア特性および高酸化物含有量の誘電体層が求められている。

【0013】

【課題を解決するための手段】

本発明は、誘電率が低いシリコン酸化物層を堆積するための方法および装置を提供する。RFまたはマイクロ波電力を用いて反応性酸素原子を発生させ、オルガノシラン、オルガノシロキサン、またはそれらの組合せからプラズマアシスト化学気相成長を行って、シリコン酸化物層が形成される。シリコン酸化物層の特性は、プロセスを変動させることによって容易に制御され、デュアルダマシンプ

ロセスに示されるように、1つの堆積チャンバで異なる層を堆積させることができる。さらに、シリコン酸化物層は、異なる層間の接着層として使用されるか、もしくは金属間誘電体層として使用可能である。亜酸化窒素、 N_2O と、メチルシラン、 CH_3SiH_3 、ジメチルシラン、 $(CH_3)_2SiH_2$ 、もしくは1, 1, 3, 3-テトラメチルジシロキサン、 $(CH_3)_2SiH-O-SiH-(CH_3)_2$ などの $Si-H$ 結合を含むシリコン化合物を反応させて、好適なシリコン酸化物層が形成される。

【0014】

シリコン酸化物は、低圧高温で硬化されて特性を安定化させる。シリコン酸化物層は、堆積チャンバに別々にRF電力を印加して、堆積された層の多孔率を高めて形成されることが最も好ましい。約10 Torrよりも低いチャンバ圧力で、低レベルのRF電力を使用することが好ましい。マイクロ波電力は、堆積チャンバ内でのパワーレベルを増大させることなく、分離チャンバに酸化ガスを供給して反応性酸化剤の形成を制御することが好ましい。

【0015】

好適な実施形態では、 $Si-H$ 結合を含む1以上のオルガノシランおよび／またはオルガノシロキサン化合物をプラズマアシスト反応させて、パターン化させた金属層上に、シリコン酸化物層が堆積される。

【0016】

本発明のシリコン酸化物は、配線間の静電結合を弱めて、1つの堆積チャンバで高信頼性のデュアルダマシン構造を製造する集積プロセスにおいてさらに有効である。好適な実施形態では、炭素含有量が約20原子量%よりも多い低k誘電体膜が、バイアレベルの誘電体層として堆積される。次いで、炭素含有量が約10原子量%よりも少ない低k誘電体膜が、高炭素含有量層上に堆積されて、トレレンチレベルの誘電体層を形成する。次いで、デュアルダマシンエッチングによりトレレンチレベルの誘電体層でトレレンチが形成され、バイアレベルの誘電体層で停止する。バイアレベルの誘電体層にあるバイアをエッチングした後、上面が平坦化されて、トレレンチレベルの誘電体層上に平坦面が残る。

【0017】

本発明は、シリコン酸化物やシリコン窒化物などの従来のエッチングストップ上に堆積されるシリコン酸化物からなる金属間誘電体材料（IMD）をさらに提供する。また、シリコン酸化物は、薄膜の接着層として堆積されてもよい。

【0018】

上記に簡潔に概略を述べたように、上述した本発明の特徴、利点および目的が、本発明の詳細かつより特定の記載において得られ、かつ理解されたように、添付の図面において説明される本発明の実施形態を参照することによってなされる。

【0019】

しかしながら、添付の図面は本発明の典型的な実施形態のみを示すものであり、したがって本発明の請求の範囲を限定するものではなく、他の同等の有効な実施形態にも適用してもよいものであることに留意されたい。本発明をさらに理解するために、より詳細な以下の記載を参照されたい。

【0020】

【発明の実施の形態】

本発明は、低誘電率、高酸化物含量およびバリヤ特性を備えるのに十分な炭素含有量を有するシリコン酸化物層を堆積するための方法および装置を提供する。シリコン酸化物層は、酸化されたオルガノシランまたはオルガノシロキサンからなり、他の誘電体材料に隣接するライニング層、酸化物含有量が少ない誘電体材料に隣接するエッチングストップ層、金属間誘電体層、および異なる材料間の接着層として使用可能である。酸化オルガノシラン材料は、約10Wから約200Wの一定のRF電力か、もしくは約20Wから約500WのパルスRF電力を用いて、オルガノシランまたはオルガノシロキサンをプラズマアシスト酸化することによって堆積される。また、シリコン酸化物は、チャンバを取り替えたり冷却時間を設けるなど、定期的に中断させて堆積され、多孔率を高めることもある。RF電力は、13MHzから14MHzなどの高周波数で設けられることが好ましい。RF電力は、約200Hzよりも低いサイクルの一定レベルで電力がオンになり、オン状態の全サイクルが全デューティサイクルの約10%から約30%である短期サイクルで用いられることが好ましい。断続的RF電力が、より高い

最高出力レベルで動作でき、より低い出力レベルで一定のRF電力と同じ全電力入力を提供する。

【0021】

シリコン酸化物層に残る炭素は、低誘電率とバリヤ特性に寄与する。残留炭素は、約1原子量%から約50原子量%であり、十分なC-H結合またはC-F結合を含むことが好ましく、疎水性をシリコン酸化物層に与えることによって、誘電率をかなり低下させ水分バリヤ特性を高めることが好ましい。

【0022】

シリコン酸化物層は、処理条件で酸化させることによって容易に除去されない有機基に炭素を含むシリコン化合物から形成される。-C-H結合は、アルキル基またはアリール基、もしくはそれらのフッ化炭素誘導体などに含まれることが好ましい。また、適切な有機基は、アルケニル基およびシクロヘキセニル基および機能誘導体を含むことも可能である。オルガノシリコン化合物は、以下のものを含む。

【0023】

メチルシラン	$\text{CH}_3\text{-SiH}_3$
ジメチルシラン	$(\text{CH}_3)_2\text{-SiH}_2$
トリメチルシラン	$(\text{CH}_3)_3\text{-SiH}$
ジメチルシランジオール	$(\text{CH}_3)_2\text{-Si-(OH)}_2$
エチルシラン	$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-SiH}_3$
フェニルシラン	$\text{C}_6\text{H}_5\text{-SiH}_3$
ジフェニルシラン	$(\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{-SiH}_2$
ジフェニルシランジオール	$(\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{-Si-(OH)}_2$
メチルフェニルシラン	$\text{C}_6\text{H}_5\text{-SiH}_2\text{-CH}_3$
ジシランメタン	$\text{SiH}_3\text{-CH}_2\text{-SiH}_3$
ビス(メチルシラン)メタン	$\text{CH}_3\text{-SiH}_2\text{-CH}_2\text{-SiH}_2\text{-CH}_3$
1,2-ジシランエタン	$\text{SiH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-SiH}_3$
1,2-ビス(メチルシラン)エタン	$\text{CH}_3\text{-SiH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-SiH}_2\text{-CH}_3$
2,2-ジシランプロパン	$\text{SiH}_3\text{-C(CH}_3)_2\text{-SiH}_3$

1, 3, 5-トリシラン-2, 4, 6-トリメチレン	$-(\text{SiH}_2\text{CH}_2-)_3-$ (環状)
1, 3-ジメチルジシロキサン	$\text{CH}_3\text{-SiH}_2\text{-O-SiH}_2\text{-CH}_3$
1, 1, 3, 3-テトラメチルジシロキサン	$(\text{CH}_3)_2\text{-SiH-O-SiH-(CH}_3)_2$
ヘキサメチルジシロキサン	$(\text{CH}_3)_3\text{-Si-O-Si-(CH}_3)_3$
1, 3-ビス(シランメチレン)ジシロキサン	$(\text{SiH}_3\text{-CH}_2\text{-SiH}_2-)_2\text{-O}$
ビス(1-メチルジシロキサン)メタン	$(\text{CH}_3\text{-SiH}_2\text{-O-SiH}_2-)_2\text{-CH}_2$
2, 2-ビス(1-メチルジシロキサン)プロパン	$(\text{CH}_3\text{-SiH}_2\text{-O-SiH}_2-)_2\text{-C(CH}_3)_2$
2, 4, 6, 8-テトラメチルシクロテトラシロキサン	$-(\text{SiHCH}_3\text{-O-})_4-$ (環状)
オクタメチルシクロオクタシロキサン	$-(\text{Si(CH}_3)_2\text{-O-})_4-$ (環状)
2, 4, 6, 8, 10-ペンタメチルシクロペンタシロキサン	$-(\text{SiHCH}_3\text{-O-})_5-$ (環状)
1, 3, 5, 7-テトラシラン-2, 6-ジオキシ-4, 8-ジメチレン	$-(\text{SiH}_2\text{-CH}_2\text{-SiH}_2\text{-O-})_2-$ (環状)
2, 4, 6-トリシランテトラヒドロピラン	$-\text{SiH}_2\text{-CH}_2\text{-SiH}_2\text{-CH}_2\text{-SiH}_2\text{-O-}$ (環状)
2, 5-ジシランテトラヒドロフラン	$-\text{SiH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-SiH}_2\text{-O-}$ (環状)

【0024】

オルガノシリコン化合物は、酸素 (O_2) か、もしくは亜酸化窒素 (N_2O)、オゾン (O_3)、二酸化炭素 (CO_2) および水 (H_2O)、好ましくは N_2O などの酸素含有化合物と反応させて堆積中に酸化させ、堆積膜の炭素含有量が1から50原子量%、好ましくは約5から30原子量%にする。酸化されたオルガノシリコン層の誘電率は、約3.0であり、非常に良好なバリア特性を有する。さらに、酸化オルガノシリコン層は、従来の低k誘電体層と比較して酸化物含有量が多く、密着性も良好である。

【0025】

酸素および酸素含有化合物は、堆積膜に所望の炭素含有量が必要がある場合に反応性を高めるために、解離させることが好ましい。RF電力が堆積チャンバに結合され、酸化化合物の解離を高めてもよい。また、酸化化合物は、マイクロ波チャンバで解離させた後に、堆積チャンバ内に入れ、シリコン含有化合物の過度の解離を減少させてもよい。シリコン酸化物層の堆積は、連続的または断続的のものでよい。堆積は、単一の堆積チャンバで生じさせることが好ましいが、2

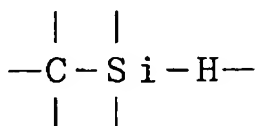
以上の堆積チャンバで連続的に層を堆積させてもよい。さらに、RF電力は、基板の加熱を低減させ、堆積フィルムでの多孔率をより良好にするために、周期状またはパルスのもを用いてもよい。シリコン酸化物層を堆積している間、基板の温度は、約 -20°C から約 400°C に維持され、好ましくは約 -20°C から 40°C に維持される。

【0026】

オルガノシランおよびオルガノシロキサン化合物は、以下の構造を含むこのが好ましい。

【0027】

【式1】



【0028】

ここで、各Siは、1個または2個の炭素原子に結合され、Cは、有機基、好ましくは $-\text{CH}_3$ 、 $-\text{CH}_2-\text{CH}_3$ 、 $-\text{CH}_2-$ 、または $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$ などのアルキル基またはアルケニル基か、それらのフッ化炭素誘導体に含まれる。フッ化誘導体にある炭素原子は、水素原子を置換するために部分的または完全にフッ素と化合させてもよい。オルガノシランまたはオルガノシロキサン化合物は、2個以上のSi原子を含み、各Siは、 $-\text{O}-$ 、 $-\text{C}-$ または $-\text{C}-\text{C}-$ により別のSiと分離されており、ここで、Cは、有機基、好ましくは $-\text{CH}_2-$ 、 $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$ 、 $-\text{CH}(\text{CH}_3)$ 、または $-\text{C}(\text{CH}_3)_2$ などのアルキルまたはアルケニル基か、それらのフッ化誘導体に含まれる。

【0029】

好適なオルガノシランおよびオルガノシロキサン化合物は、室温に近い気体または液体であり、約 10 Torr を超えると蒸発する場合がある。好適なオルガノシランおよびオルガノシロキサンは、次の通りである。

【0030】

メチルシラン	$\text{CH}_3\text{-SiH}_3$
ジメチルシラン	$(\text{CH}_3)_2\text{-SiH}_2$
トリメチルシラン	$(\text{CH}_3)_3\text{-SiH}$
ジシランメタン	$\text{SiH}_3\text{-CH}_2\text{-SiH}_3$
ビス(メチルシラン)メタン	$\text{CH}_3\text{-SiH}_2\text{-CH}_2\text{-SiH}_2\text{-CH}_3$
1,2-ジシランエタン	$\text{SiH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-SiH}_3$
1,2-ビス(メチルシラン)エタン	$\text{CH}_3\text{-SiH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-SiH}_2\text{-CH}_3$
2,2-ジシランプロパン	$\text{SiH}_3\text{-C}(\text{CH}_3)_2\text{-SiH}_3$
1,3,5-トリシラン-2,4,6-トリメチレン	$\text{-(SiH}_2\text{CH}_2\text{)-}_3\text{-(環状)}$
1,3-ジメチルジシロキサン	$\text{CH}_3\text{-SiH}_2\text{-O-SiH}_2\text{-CH}_3$
1,1,3,3-テトラメチルジシロキサン	$(\text{CH}_3)_2\text{-SiH-O-SiH-(CH}_3)_2$
1,3-ビス(シランメチレン)ジシロキサン	$(\text{SiH}_3\text{-CH}_2\text{-SiH}_2\text{)-}_2\text{-O}$
ビス(1-メチルジシロキサニル)メタン	$(\text{CH}_3\text{-SiH}_2\text{-O-SiH}_2\text{)-}_2\text{-CH}_2$
2,2-ビス(1-メチルジシロキサニル)プロパン	$(\text{CH}_3\text{-SiH}_2\text{-O-SiH}_2\text{)-}_2\text{-C}(\text{CH}_3)_2$
2,4,6,8,10-ペンタメチルシクロペンタシロキサン	$\text{-(SiHCH}_3\text{-O)-}_5\text{-(環状)}$
1,3,5,7-テトラシラン-2,6-ジオキシ-4,8-ジメチレン	$\text{-(SiH}_2\text{-CH}_2\text{-SiH}_2\text{-O)-}_2\text{-(環状)}$
チレン	
2,4,6-トリシランテトラヒドロピラン	$\text{-SiH}_2\text{-CH}_2\text{-SiH}_2\text{-CH}_2\text{-SiHO}_2\text{-O-(環状)}$
2,5-ジシランテトラヒドロフラン	$\text{-SiH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-SiH}_2\text{-O-(環状)}$

【0031】

および以下に実施例を挙げるそれらのフッ化炭素誘導体を含む。

【0032】

トリフルオロメチルシラン	$\text{CF}_3\text{-SiH}_3$
1,2-ジシランテトラフルオロエチレン	$\text{SiH}_3\text{-CF}_2\text{-CF}_2\text{-SiH}_3$
1,2-ビス(トリフルオロメチルシラン)テトラフルオロエタン	$\text{CF}_3\text{-SiH}_2\text{-CF}_2\text{-CF}_2\text{-SiH}_2\text{-CF}_3$
2,2-ジシランヘキサフルオロプロパン	$\text{SiH}_3\text{-C}(\text{CF}_3)_2\text{-SiH}_3$
1,3-ビス(シランジフルオロメチレン)ジシロキサン	$(\text{SiH}_3\text{-CF}_2\text{-SiH}_2\text{)-}_2\text{-O}$
ビス(1-トリフルオロメチルジシロキサニル)ジフルオロメタン	$(\text{CF}_3\text{-SiH}_2\text{-O-SiH}_2\text{)-}_2\text{-CF}_2$
ン	

2, 4, 6-トリシランテトラフルオロピラン $-\text{SiH}_2-\text{CF}_2-\text{SiH}_2-\text{CF}_2-\text{SiH}_2-\text{O}-$ (環状)

2, 5-ジシランテトラフルオロフラン $-\text{SiH}_2-\text{CF}_2-\text{CF}_2-\text{SiH}_2-\text{O}-$ (環状)

【0033】

オルガノシランおよびオルガノシロキサンにある炭化水素基は、部分的または完全にフッ素と化合させて、C-H結合またはC-F結合を転化してもよい。好適なオルガノシランおよびオルガノシロキサン化合物の多くは、市販されているものである。オルガノシランやオルガノシロキサンのうち2以上のものからなる混合物を用いてもよく、それにより、誘電率、酸化物含有量、疎水性、膜応力およびプラズマエッチング特性などのさまざまな所望の特性を兼ね備えることができる。

【0034】

オルガノシランおよびオルガノシロキサン化合物は、亜酸化窒素 (N_2O) を分解させて堆積プロセス中に形成される酸素とプラズマアシスト反応させることによって、堆積中に酸化させることが好ましい。亜酸化窒素は、プラズマアシストを施さなければオルガノシランまたはオルガノシロキサンとは反応せず、酸素-窒素結合は、オルガノシランとオルガノシロキサンの結合エネルギーよりも低いエネルギーで容易に分裂する。酸化された化合物は、半導体基板のパターン化層などの接触した表面に接着し、堆積膜を形成する。堆積膜は、低圧、約100から約450℃の温度、好ましくは約400℃を超える温度で硬化され、膜のバリア特性を安定化させる。堆積膜は、バリア特性を備えるのに十分な炭素含有量を有する。炭素含有量は、優れた水分バリア特性を有する疎水性膜となるように、C-H結合またはC-F結合を含むことが好ましい。

【0035】

さらに、本発明は、反応ゾーン、この反応ゾーンに基板を位置付けるための基板ホルダおよび真空システムを含む容器を有する基板処理システムを提供する。処理システムは、容器の反応ゾーンをオルガノシランまたはオルガノシロキサン化合物、酸化ガスおよび不活性ガスの供給源に接続する気体/液体分配システムと、反応ゾーンでプラズマを発生させるガス分配システムに結合されたRF発生器とをさらに備える。処理システムは、容器、ガス分配システムおよびRF発生

器を制御するコンピュータからなるコントローラと、コントローラに結合されるメモリであって、オルガノシランまたはオルガノシロキサン化合物と酸化ガスのプラズマで低誘電率膜を堆積するプロセスステップを選択するためのコンピュータ読取り可能プログラムコードからなるコンピュータ使用可能媒体からなるメモリをさらに備える。

【0036】

処理システムは、一実施形態において、酸化オルガノシリコン化合物のライナを堆積させる工程と、異なる誘電体層を堆積させる工程と、さらに酸化オルガノシリコン化合物のキャップ層を任意に堆積させる工程とからなるプロセスステップを選択するためのコンピュータ読取り可能プログラムコードを備えてもよい。

【0037】

さらに、本発明の記載は、本発明のシリコン酸化物層を堆積させるための特別な装置に関し、さらに好適なシリコン酸化物膜に関する。

【0038】

例示的CVDプラズマリアクタ

本発明の方法を実行可能な1つの適切なCVDプラズマリアクタが図2に示されており、この図は、高真空領域15を有する平行板化学気相堆積リアクタ10の垂直断面図である。リアクタ10は、ガス分配マニホールド11を含み、これによりマニホールドに貫通させた穴を介して、リフトモニタ14により昇降させる基板支持板またはサセプタ12上に載せた基板またはウェーハ（図示せず）にプロセスガスを分散させる。液体オルガノシランおよび／またはオルガノシロキサン化合物を射出するために、通常はTEOSの液体射出用に用いられるような液体射出システム（図示せず）が用いられてもよい。好適なメチルシランは気体である。

【0039】

リアクタ10は、抵抗加熱コイル（図示せず）または外部ランプ（図示せず）などにより、プロセスガスおよび基板を加熱することを含む。図2を参照すると、サセプタ12は、支持ステム13上に載置されているため、サセプタ12（およびサセプタ12の上面に支持されたウェーハ）は、下側装填／装填外し位置と

マニホールド11に近接させた上側処理位置との間の移動を制御される。

【0040】

サセプタ12とウェーハが処理位置14にあるとき、これらは絶縁体17とマニホールドへのプロセスガス排出器24に囲まれている。処理中、マニホールド11へガスを入れて、このガスをウェーハ表面全体に放射状に均一に分配する。絞り弁を有する真空ポンプ32は、チャンバからのガスの排気速度を制御する。

【0041】

マニホールド11に到達する前に、堆積およびキャリアガスをガスライン18を介して混合システム19内に入れ、ここで結合させてマニホールド11へ送る。任意のマイクロ波アプリータ28が、酸化ガス用の入力ガスラインに配置されて、酸化ガスのみを解離させるエネルギーをさらに供給する。マイクロ波アプリータは、0から6000Wを供給する。また、一般に、プロセスガスのそれぞれのプロセスガス供給ライン18は、(i) チャンバ内へのプロセスガスの流れを自動的または手動で遮断するために使用可能な安全遮断弁（図示せず）と、(ii) ガス供給ラインを介してガスの流れを測定する質量流量コントローラ（これも図示せず）を含む。有毒ガスが処理工程で使用される場合、従来の構造の各ガス供給ライン上に遮断弁をいくつか設ける。

【0042】

リアクタ10で実行される堆積プロセスは、熱プロセスまたはプラズマ強化形プロセスのいずれかの場合がある。プラズマプロセスでは、RF電源25から分配マニホールド11に印加されるRFエネルギーにより、ウェーハの隣接付近に制御されたプラズマが形成される（サセプタ12は接地させる）。あるいは、RF電力がサセプタ12に供給されるか、もしくはRF電力が異なる周波数で異なる構成要素に供給されてもよい。RF電源25は、単一または混合周波数RF電力のいずれかを供給して、高真空領域15内に導入される反応種の分解を促進させてもよい。混合周波数RF電源は、通常、13.56MHzの高RF周波数（RF1）で電力を分配マニホールド11に供給し、さらに360KHzの低RF周波数（RF2）でサセプタ12に供給する。本発明のシリコン酸化物層は、低レベルの一定高周波数RF電力またはパルスレベルの高周波数RF電力を用いて

形成されることが最も好ましい。パルスRF電力は、約20Wから約500Wで13.56MHzのRF電力を供給することが好ましく、デューティサイクルの約10%から約30%で、20Wから約250Wで供給されることが最も好ましい。一定RF電力は、約10Wから約200Wで13.56MHzのRF電力で供給されることが好ましく、約20Wから約100Wで供給されることがより好ましい。低電力での堆積は、約-20℃から約40℃の温度範囲で生じさせることが好ましい。好適な温度範囲では、堆積膜は、堆積中部分的に重合され、膜の引き続き硬化する間に重合化が完了する。

【0043】

酸化ガスをさらに解離することが望ましい場合、任意のマイクロ波チャンバが使用されて、0から3000Wのマイクロ波を酸化ガスに印加した後に、堆積チャンバに入れてもよい。マイクロ波電力を別々に追加することで、酸化ガスと反応する前に、シリコン化合物が過度に解離しないようにする。マイクロ波電力が酸化ガスに追加される場合、シリコン化合物と酸化ガス用に別々の通路を有するガス分配板を使用することが好ましい。

【0044】

通常、チャンバライニング、分配マニホールド11、サセプタ12、およびさまざまな他のリアクタハードウェアのうちのいずれかまたはすべては、アルミニウムや陽極処理を施したアルミニウムなどの材料からなる。このようなCVDリアクタの一実施例が、「熱CVD/PECVDリアクタおよび二酸化シリコンの熱化学気相堆積法およびインシトゥでのマルチステップ平坦化プロセス (Thermal CVD/PECVD Reactor and Use for Thermal Chemical Vapor Deposition of Silicon Dioxide and In-situ Multi-step Planarized Process)」と題したウワン等 (Wang et al.) の米国特許第5,000,113号公報に記載されている。前述の特許は、本発明の譲受人であるアプライドマテリアルズ社 (Applied Materials, Inc.) に譲渡されている。

【0045】

リフトモニタ 14 は、処理位置と、より低い位置にあるウェーハ装填位置との間でサセプタ 12 を昇降させる。モータガス混合システム 19 および RF 電源 25 は、制御ライン 36 を通じてシステムコントローラ 34 により制御される。リアクタは、本発明の好適な実施形態ではハードディスクドライブであるメモリ 38 に格納されたシステムコントローラソフトウェアを実行するシステムコントローラ 34 により制御された質量流量コントローラ (MFC) および標準またはパルス RF 発生器などのアナログ装置を含む。真空ポンプ 32 の絞り弁およびサセプタ 12 を配置するモータなどの可動機械装置の位置を移動および決定するために、モータおよび光センサが使用される。

【0046】

システムコントローラ 34 は、CVD リアクタのすべての動作を制御し、コントローラ 34 の好適な実施形態は、ハードディスクドライブ、フロッピーディスクドライブおよびカードラックを含む。カードラックは、単一ボードコンピュータ (SBC)、アナログおよびデジタル入力/出力ボード、インタフェースボードおよびステップモータコントローラボードを有する。システムコントローラは、ボード、カードケージ、およびコネクタの寸法と種類を規定する Versa Modular Europeans (VME) Standard (バーサヨーロッパスタンダード) に従う。この VME 標準はまた、16 ビットデータバスと 24 ビットアドレスバスを有するバス構造を規定する。

【0047】

システムコントローラ 34 は、ハードディスクドライブ 38 に格納されたコンピュータプログラムの制御下で動作する。コンピュータプログラムは、特定の工程のタイミング、ガスの混合、RF パワーレベル、サセプタ位置および他のパラメータを指示する。ユーザーとシステムコントローラ間のインタフェースは、CRT モニタ 40 とライトペン 44 により行われ、これらを図 3 に示す。好適な実施形態では、第 2 のモニタ 42 が使用され、第 1 のモニタ 40 がオペレータ用にクリーンルームの壁に設けられ、もう一つの第 2 のモニタ 42 がサービス技術者用に壁の後ろ側に設けられる。両方のモニタ 40、42 は同時に同じ情報を表示するが、1 本のライトペン 44 のみしか使用できない。ライトペン 44 は、CR

Tディスプレイにより放出される光をペンの先端にある光センサで検出する。特定のスクリーンまたは機能を選択するために、オペレータは、ディスプレイスクリーンの指定領域に触れ、ペン44のボタンを押す。接触領域の色が強調されて変化するか、もしくは新しいメニューまたはスクリーンが表示されて、ライトペンとディスプレイスクリーンとの間の通信を確認する。

【0048】

図4を参照すると、例えば、システムコントローラ34などで実行するコンピュータプログラムプロダクト410を用いてプロセスを実行できる。コンピュータプログラムコードは、従来のコンピュータの読取り可能なプログラミング言語、例えば68000アセンブリ言語、C、C++、もしくはパスカルなどの言語に書き込むことができる。適切なプログラムコードは、従来のテキストエディタを用いて、単一ファイル又は複数ファイルに入力され、さらにコンピュータのメモリーシステムなどのコンピュータ使用可能媒体に格納又は収録される。入力されたコードテキストがハイレベル言語で表される場合は、コードはコンパイルされ、さらに得られたコンパイラコードがプレコンパイルされたウィンドウズライブラリルーチンのオブジェクトコードとリンクされる。リンクされ、コンパイルされたオブジェクトコードを実行するために、システムユーザはオブジェクトコードを呼び出し、コンピュータシステムにそのコードをメモリに入れ、そこからCPUがコードを読み取り、実行し、プログラムで同定されたタスクを実施する。

【0049】

図4は、コンピュータプログラム410の階層制御構造を示す例示的ブロック図である。ライトペン44インタフェースを用いて、CRTモニタ40に表示されたメニューまたはスクリーンに応じて、ユーザーが、プロセスセクタサブルーチン420にプロセスセット数及びプロセスチャンバ数を入力する。プロセスセットは、特定のプロセスを実行するのに必要なプロセスパラメータの所定のセットであり、所定のセット数により同定される。プロセスセクタサブルーチン420は、(i) Centura (登録商標名) (アプライドマテリアルズ社より入手可能) などのクラスタツールでの所望の処理チャンバを選択し、および (

i i) プロセスチャンバーを動作させて所望のプロセスを実行するのに必要な所望のプロセスのセットを選択する。特定のプロセスを行うプロセスパラメータは、例えば、プロセスガス組成および流量、温度、圧力、RFバイアスパワーレベルおよび磁場パワーレベルなどのプラズマ条件、冷却ガス圧力、およびチャンバ壁温度などのプロセス条件に関係し、レシピ形式でユーザに与えられる。レシピで特定されたパラメータは、ライトペン/CRTモニタインタフェースを利用して入力される。

【0050】

プロセスをモニタする信号は、システムコントローラのアナログ入力およびデジタル入力ボードにより与えられ、プロセスを制御する信号は、システムコントローラ34のアナログ出力およびデジタル出力ボードに出力される。

【0051】

プロセスシーケンササブルーチン430は、プロセスセクタサブルーチン420から同定された処理チャンバおよびプロセスパラメータのセットを受け、かつ各種処理チャンバの動作を制御するプログラムコードからなる。複数のユーザが、プロセスセット数および処理チャンバ数を入力することができるか、または1人のユーザが、複数の処理チャンバ数を入力することができることにより、シーケンササブルーチン430は、所望のシーケンスの選択されたプロセスをスケジュールするように動作する。好ましくは、シーケンササブルーチン430には、(i) 処理チャンバの動作をモニタして、チャンバが用いられているかを決定する工程と、(i i) どのようなプロセスを使用するチャンバで実行するかを決定する工程と、(i i i) 処理チャンバの利用可能性および実行するプロセスの種類に基づいて、所望のプロセスを実行する工程とを行うコンピュータ読取り可能なプログラムコードが含まれる。処理チャンバをモニタするポーリングなどの従来の方法を用いることが可能である。どのプロセスを実行するかを予定するとき、シーケンササブルーチン430は、選択されたプロセス、または各々の特定のユーザが入力したリクエストの「存在期間 (a g e)」、または予定の優先順位を決定するためにシステムプログラマが望む他の関連する因子に対する所望のプロセス条件と比較して、使用する処理チャンバの現在の条件を考慮するよう

にデザインされてもよい。

【0052】

シーケンササブルーチン430が、次にどの処理チャンバとプロセスセットの組合せを実行するかを決定すると、シーケンササブルーチン430は、このシーケンササブルーチン430により決定されたプロセスセットに従って、処理チャンバ10における複数の処理タスクを制御するチャンバ管理サブルーチン440に特定のプロセスセットパラメータを通過させることにより、プロセスセットの実行を開始する。例えば、チャンバ管理サブルーチン440は、プロセスチャンバ10におけるCVDプロセス動作を制御するプログラムコードからなる。さらに、チャンバ管理サブルーチン440は、選択されたプロセスセットを実行するのに必要なチャンバの構成要素の動作を制御するさまざまなチャンバ構成要素サブルーチンの実行を制御する。チャンバ構成要素サブルーチンの実施例は、サセプタ制御サブルーチン450、プロセスガス制御サブルーチン460、圧力制御サブルーチン470、ヒータ制御サブルーチン480、およびプラズマ制御サブルーチン490である。当業者は、他のチャンバ制御サブルーチンが、リアクタ10で実行したいプロセスに依存して含まれることが可能なことを容易に認識するであろう。

【0053】

動作中、チャンバ管理サブルーチン440は、実行されている特定のプロセスに応じて、プロセス構成要素サブルーチンを選択的に指定するか、または読み出す。チャンバ管理サブルーチン440は、シーケンササブルーチン430がどの処理チャンバ10およびプロセスセットが次に実行されるかを指定する方法と同様に、プロセス構成要素サブルーチンを指定する。典型的には、チャンバ管理サブルーチン440は、さまざまなチャンバ構成要素をモニタする工程と、どの構成要素が実行されるプロセスセットのプロセスパラメータに基づいて動作される必要があるかを決定する工程と、さらにモニタ工程および決定工程に応答してチャンバ構成要素サブルーチンの実行をもたらす工程とを含む。

【0054】

特定のチャンバ構成要素サブルーチンの動作を、ここで図4を参照して記載す

る。サセプタ制御位置決めサブルーチン450は、基板をサセプタ12上に装填するために用いられ、任意に、基板をリアクタ10内の所望の高さにリフトして基板とガス分配マニホールド11間の間隔を制御するために用いられるチャンバ構成要素を制御するプログラムコードからなる。基板がリアクタ10に装填されると、サセプタ12は基板を受けるため降下され、その後、サセプタ12はチャンバ内の所望の高さまで上昇されて、CVDプロセス中、基板をガス分配マニホールド11から第1の距離または間隔をおいて維持する。動作時には、サセプタ制御サブルーチン450は、チャンバ管理サブルーチン440から転送されるプロセスセットパラメータに応答してサセプタ12の運動を制御する。

【0055】

プロセスガス制御サブルーチン460は、プロセスガスの組成と流量を制御するプログラムコードを有する。プロセスガス制御サブルーチン460は、安全遮断弁の開閉位置を制御し、質量流制コントローラを開閉させて所望のガス流量を得る。プロセスガス制御サブルーチン460は、すべてのチャンバ構成要素サブルーチンと同様に、チャンバ管理サブルーチン440により呼び出され、そして所望のガス流量に関係するプロセスパラメータをチャンバ管理サブルーチンから受ける。通常、プロセスガス制御サブルーチン460は、ガス供給ラインを開放し、反復して、(i) 必要な質量流コントローラを読み取り、(ii) 読取り値をチャンバ管理サブルーチン440から受けた所望の流量と比較し、(iii) 必要に応じてガス供給ラインの流量を調節することにより動作する。さらに、プロセスガス制御サブルーチン460は、危険な量のガス流量をモニタすると共に、危険状態が検出されたときは、安全遮断弁を作動させる工程を含む。

【0056】

いくつかのプロセスにおいては、ヘリウム又はアルゴンなどの不活性ガスがチャンバ10内に流入されて、チャンバ内で圧力を安定化した後、反応プロセスガスが導入される。これらのプロセスに対して、プロセスガス制御サブルーチン460は、チャンバ10内の圧力を安定化するのに必要な時間で不活性ガスをチャンバ10に流入させる工程を含み、次いで、上述した工程が実行される。さらに、プロセスガスが液体前駆体、例えば、1, 3, 5-トリシラノー2, 4, 6-

トリメチレン (1, 3, 5-トリシラナシクロヘキサン)から蒸発される場合、プロセスガス制御サブルーチン460は、バブラアセンブリの液体前駆体を通してヘリウムなどの配送ガスをバブルする工程を含むように書き込まれる。この種のプロセスでは、プロセスガス制御サブルーチン460は、所望のプロセスガスの流量を得るために、配送ガスの流れ、バブラの圧力、およびバブラの温度を調節する。上述したように、所望のプロセスガスの流量は、プロセスパラメータとしてプロセスガス制御サブルーチン460に転送される。さらに、プロセスガス制御サブルーチン460は、所定のプロセスガス流量に対して必要な値を含む記憶テーブルにアクセスすることにより、所望のプロセスガス流量に必要な配送ガス流量、バブラの圧力、およびバブラの温度を得る工程を含む。必要な値が得られると、配送ガス流量、バブラの圧力、バブラの温度がモニタされ、必要な値と比較され、それに応じて調節される。

【0057】

圧力制御サブルーチン470は、排気ポンプ32における絞り弁の開口の大きさを調節することにより、リアクタ10の圧力を制御するプログラムコードからなる。絞り弁の開口の大きさは、全プロセスガスの流れ、処理チャンバの大きさ、および排気ポンプ32のセットポイント圧力に関する所望のレベルにチャンバの圧力を制御するように設定される。圧力制御サブルーチン470が呼び出されると、所望またはターゲット圧力レベルがチャンバ管理サブルーチン440からのパラメータとして受け取られる。圧力制御サブルーチン470は、チャンバに接続された1以上の従来の圧力マノメータを読み取ることにより、チャンバ10の圧力を測定し、測定値をターゲット圧力と比較し、ターゲット圧力に対応する記憶された圧力テーブルからPID (比例、積分、および微分) 値を得て、圧力テーブルから得られたPID値に従って絞り弁を調節するように動作する。あるいは、圧力制御サブルーチン470は、絞り弁を特定の開口の大きさに開放または閉鎖して、リアクタ10を所望の圧力に調整するように書き込むことができる。

【0058】

ヒータ制御サブルーチン480は、サセプタ12を加熱するために用いられる

加熱モジュールまたは放射熱の温度を制御するプログラムコードからなる。ヒータ制御サブルーチン480は、チャンバ管理サブルーチン440により呼び出され、ターゲット、またはセットポイントの温度パラメータを受け取る。ヒータ制御サブルーチン480は、サセプタ12内に配置された熱電対の出力電圧を測定することによって温度を測定し、測定温度をセットポイント温度と比較し、さらに加熱モジュールに印加された電流を増加または減少させてセットポイント温度を得る。温度は、記憶された変換テーブルで対応する温度を参照するか、または四次多項式を用いて温度を計算することにより、測定電圧から得られる。ヒータ制御サブルーチン480は、加熱モジュールに印加された電流の増減を徐々に制御する。電流を徐々に増減することによって、加熱モジュールの寿命および信頼性が増す。さらに、内蔵型フェイルセーフモードは、プロセスの安全コンプライアンスを検出するために含めることができ、またリアクタ10が適切にセットアップされてなければ、加熱モジュールの動作を遮断することができる。

【0059】

プラズマ制御サブルーチン490は、リアクタ10のプロセス電極に印加されるRFバイアス電圧のパワーレベルを設定し、任意に、リアクタ内に発生する磁場のレベルを設定するプログラムコードからなる。前述したチャンバ構成要素サブルーチンと同様に、プラズマ制御サブルーチン490は、チャンバ管理サブルーチン440により呼び出される。

【0060】

上記CVDシステムは、主として例示的目的で記載したものであって、電子サイクロトロン共鳴(ECR)プラズマCVD装置、誘導結合形RF高密度プラズマCVD装置などの他のプラズマCVD装置を用いてもよい。さらに、サセプタのデザイン、ヒータのデザイン、RF電力接続の位置における変形例などの上記システムを変形することも可能である。例えば、ウェーハは、抵抗加熱サセプタにより支持、加熱することも可能である。本発明の予め処理された層を形成する前処理およびその方法は、任意の特定の装置に制限されるものではなく、また任意の特定のプラズマ励起方法に制限されるものでもない。

【0061】

3層ギャップ充填プロセスにおける酸化オルガノシランまたはオルガノシロキサン誘電体の堆積

本発明の酸化オルガノシランまたはオルガノシロキサン層は、図2のPECVDチャンバを用いて、図5に示すような3層ギャップ充填処理に使用することができる。図5を参照すると、リアクタ10にウェーハが配置され(200)、低誘電率の酸化オルガノシラン層が、オルガノシラン化合物および/またはオルガノシロキサン化合物からなるプラズマからPECVD処理により堆積される(205)。この堆積工程205は、当業者に周知の方法に従って処理チャンバ15内において、静電結合されたプラズマか、または誘導結合プラズマと静電結合プラズマの両方を含むことができる。PECVD堆積法では、ヘリウムなどの不活性ガスが一般に使用され、プラズマ発生を促進する。次いで、ギャップ充填層が、周知の方法でライナ層上に堆積される(210)。ギャップ充填層は、メチルシランと過酸化水素を反応させて液体で堆積させたスピンオンポリマーや酸化物など、自己平坦化させることが好ましい。次いで、好ましくは、ライニング層を堆積するプロセスと同じプロセスを用いて、キャップ層215が、ギャップ充填層上に堆積される(215)。次いで、ウェーハは、リアクタ10から除去される(220)。

【0062】

図6Aから6Eを参照すると、3層のギャップ充填プロセスにより、酸化オルガノシランまたはオルガノシロキサンポリマーからなるPECVDライニング層300が形成される。ライニング層300は、次のギャップ充填層302と下地の基板表面304と基板表面に形成された金属ライン306、308、310の間の分離層として作用する。ギャップ充填層302は、酸化オルガノシランまたはオルガノシロキサンポリマーのPECVDキャップ層312により覆われる。このプロセスは、CVDリアクタ10のコンピュータコントローラ34のメモリ38に格納されたコンピュータプログラムを用いて実行、制御される。

【0063】

図6Aを参照すると、PECVDライニング層300は、 N_2O などの酸化ガス、 CH_3SiH_3 または $(CH_3)_2SiH_2$ などのオルガノシランまたはオルガ

ノシロキサン化合物と、ヘリウムなどのキャリアガスを導入することによって、リアクタ10に堆積される。基板は、PECVDライニング層を堆積する間、約 -20°C から約 400°C の温度で維持され、さらに、およそ -20°C から 40°C の温度で維持されることが好ましい。PECVDライニング層300は、約5 sccmから約500 sccmの流量でオルガノシランおよび/またはオルガノシロキサンの混合物と、約5 sccmから約2000 sccmの流量で酸化ガスを含むプロセスガスで堆積される。プロセスガスは、約0.2から約201 pmの流量で、通常膜内には取り入れられないHe、Ar、Neなどの不活性ガスや、窒素などの比較的不活性なガスにより搬送される。プロセスガスは、約0.2から約20 Torrの圧力で反応し、10 Torrよりも低い圧力で反応することが好ましく、基板表面304と金属ライン306、308、310上にコンフォーマルなシリコン酸化物層を形成する。この反応は、 $0.05\text{W}/\text{cm}^2$ から $1000\text{W}/\text{cm}^2$ の範囲の出力密度でプラズマ強化され、この出力密度は、約 $1\text{W}/\text{cm}^2$ よりも小さな出力密度がより好ましく、約0.1から約0.3 W/cm^2 の出力密度が最も好ましい。

【0064】

8インチの単一ウェーハチャンバでは、約13.56 MHzの高周波RF供給源が、ガス分配システムに接続され、約10から約500 Wで駆動されることが好ましい一方、約350 KHzから1 MHzの低周波RF供給源がサセプタに任意に接続され、約0から約100 Wで駆動される。好適な実施形態では、高周波RF供給源は、約20 Wから約250 WのパルスRF電力で駆動され、低周波RF供給源は、約0から約50 WのパルスRF電力で10%から30%のデューティサイクルで駆動される。パルスRF電力は、短い間隔の周期的なものが好ましく、約200 Hzより低い周波数をもつものが最も好ましい。高周波RF電力が一定のものである場合、パワーレベルは、約20 Wから約100 Wの範囲のものであることが好ましい。

【0065】

次いで、酸化オルガノシランまたはオルガノシロキサン層は、約10 Torrよりも低い圧力で約 100°C から約 450°C の温度で硬化される。任意に、誘電

体層をさらに堆積した後に、硬化を行ってもよい。

【0066】

上記プロセス条件を用いると、PECVDライニング層300が堆積され（1分につき約2000Å）、図6Bに示すようなギャップ充填層302を次に堆積する場合のバリア特性が改良される。メチルシランから得られるライニング層は、疎水性を備えるために十分なC-H結合を有し、優れた水分バリアとなる。疎水ライニング層を堆積することによって、次の親水層を疎水層に変換するという驚くべき意外な結果が得られる。

【0067】

ギャップ充填層302のプロセスガスは、 SiH_4 、 CH_3SiH_3 、または $(\text{CH}_3)_2\text{SiH}_2$ 、および蒸発されてヘリウムなどの不活性キャリアガスと混合される50wt%の過酸化水素（ H_2O_2 ）であることが好ましい。しかしながら、ガス充填層は、許容範囲内の誘電率をもつものであればどのような誘電体層でもよい。堆積状態での副生成物が蒸気であれば、代替するシリコン含有化合物を用いることも可能である。好適な代替化合物は、以下のようなオキシシラノまたはシラノ基を取り入れる。

【0068】

トリメチルシラン

ジシラノメタン

ビス（メチルシラノ）メタン

1, 2-ジシラノエタン

2, 2-ジシラノプロパン

1, 3, 5-トリシラノ-2, 4, 6-トリメチレン（環状）

1, 3-ビス（シラノメチレン）シロキサン

ビス（1-メチルジシロキサニル）メタン

2, 4, 6, 8-テトラメチルシクロテトラシロキサン、または

1, 2-ジシラノテトラフルオロエタン

【0069】

プロセスガスの流れは、Heで0から2000sccmであり、 CH_3SiH_3

で10から200 s c c mであり、 H_2O_2 で0.1から3 g/分である。好適なガスの流れは、Heで100から500 s c c mであり、 CH_3SiH_3 で20から100 s c c mであり、 H_2O_2 で0.1から1 g/分である。これらの流量が、約5.5から6.5リットルの容積をもつチャンバに与えられる。リアクタ10は、ギャップ充填層302を堆積している間、約0.2から約5 Torrの圧力で維持されることが好ましい。ギャップ充填層302は、図6Cに示されるように、部分的に硬化されて、水などの溶媒を取り除いた後、図6Dに示すようにキャップ層312を堆積してもよい。リアクタ10において、10 Torrを下回る不活性ガス雰囲気下でポンプすることによって硬化が行われる。

【0070】

メチルシランから形成されたギャップ充填層は、通常、親水性であり、水分バリヤ特性が低い。メチルシランから形成されたライニング層上に堆積される場合、メチルシランから形成されたギャップ充填層は、驚くべきことに疎水性となり、水分バリヤ特性が良好になる。

【0071】

図6Dを参照すると、ギャップ充填層302を堆積した後に、リアクタ10は、キャップ層312を堆積するために、本発明の酸化オルガノシランまたはオルガノシロキサン層の堆積を任意に開始する。図6Eを参照すると、このキャップ層を堆積した場合、その後に、堆積した層が、約100℃から約450ECの温度で炉または別のチャンバで硬化されて、残りの溶剤または水を取り除く。プロセス条件は、堆積膜の所望の特性に応じて可変であることは言うまでもない。

【0072】

デュアルダマシン構造の堆積

酸化オルガノシランまたはオルガノシロキサン層をエッチングストップまたは金属間誘電体層として含むデュアルダマシン構造が図7に示されている。酸化オルガノシランまたはオルガノシロキサンがエッチングストップとして使用される場合、第1の誘電体層510が基板512上に堆積され、次いで、酸化オルガノシランまたはオルガノシロキサンエッチングストップ514が、第1の誘電体層上に堆積され、硬化される。次いで、エッチングストップは、パターンエッチン

グされて、コンタクト／バイア 516 の開口を画定する。次いで、第 2 の誘電体層 518 がパターン化されたエッチングストップ上に堆積されて、従来の方法でパターンエッチングされて配線 520 を画定する。次いで、エッチングプロセスを一回実行して、エッチングストップまでの配線を画定して、パターン化されたエッチングストップにより露出した保護されていない誘電体部分をエッチングして、コンタクト／バイアを画定する。

【0073】

図 7 を再度参照すると、ダマシン構造は、この替わりに、金属間誘電体として酸化オルガノシランまたはオルガノシロキサンを含む。酸化オルガノシランまたはオルガノシロキサンからなるものが好ましい第 1 の誘電体層 510 が、基板 512 上に堆積され、次いで、従来のシリコン酸化物、シリコン窒化物、または水素と化合させたシリコン炭化物エッチングストップ 514 が、第 1 の誘電体層上に堆積される。次いで、エッチングストップはパターン化されて、コンタクト／バイア 516 の開口を画定する。次いで、酸化オルガノシランまたはオルガノシロキサンからなる第 2 の誘電体層 518 が、パターン化されたエッチングストップ上に堆積され、パターン化されて配線 520 を画定する。次いで、エッチングプロセスを一回実行して、エッチングストップまでの配線を画定し、パターン化されたエッチングストップにより露出した保護されていない誘電体部分をエッチングして、コンタクト／バイアを画定する。

【0074】

本発明により製造される好適なデュアルダマシン構造は、図 8 H に示すように、ライニング層を含み、この構造を形成する方法は、図 8 A から 8 H に概略的に連続して描かれており、これらの図は、本発明の工程を用いて形成した基板の断面図である。

【0075】

図 8 A に示すように、パリレン、FSG、シリコン酸化物などの第 1 の誘電体層 510 が、製造する構造のサイズにもよるが、約 5,000 から約 10,000 D の厚みまで基板 512 上に堆積される。図 8 B に示すように、酸化オルガノシランまたはオルガノシロキサン層である低 k エッチングストップ 514 は、低

レベルのRF電力を用いて、約200から約1,000Åの厚みまで第1の誘電体層上に堆積される。次いで、低kエッチングストップ514がパターンエッチングされ、コンタクト/バイア開口516を画定し、コンタクト/バイアが図8Cに示されたように形成された領域に第1の誘電体層510を露出させる。低kエッチングストップ514は、従来のフォトリソグラフィを用い、さらにフッ素、炭素および酸素イオンを用いたエッチング処理を用いてパターンエッチングされる。低kエッチングストップ514がエッチングされてコンタクト/バイアをパターン化して、フォトレジストが除去された後、第2の誘電体層518が、図8Dに示すように、約5,000から約10,000Åの厚みまでエッチングストップ514上に堆積される。次いで、図8Eに示すように、好ましくは、フォトレジスト層522で従来のフォトリソグラフィ処理を用いて、第2の誘電体層518がパターン化されて配線520を画定する。次いで、配線およびコンタクト/バイアは、図8Fに示すように、反応イオンエッチングや他の異方性エッチング技術を用いてエッチングされて、メタライゼーション構造（すなわち、配線およびコンタクト/バイア）を画定する。エッチングストップ514や第2の誘電体層518をパターン化するために使用されたあらゆるフォトレジストや他の材料が酸素ストリッピングや他の適当な処理を施して除去される。

【0076】

次いで、メタライゼーション構造は、アルミニウム、銅、タングステン、またはそれらの組合せなどの導電性材料で形成される。銅の抵抗率が低いため（3.1mW-cmのアルミニウムに対して1.7mW-cm）、現在では、さらに小さな特徴を形成するために銅を用いる傾向にある。図8Gに示すように、窒化タantalなどの適切なバリア層524が最初に、メタライゼーションパターンでコンフォーマルに堆積されることにより、周辺のシリコンおよび/または誘電体材料へ銅が移動しないようにする。その後、化学的気相堆積法、物理気相成長法、電気めっき、またはそれらの組合せのいずれかを用いて、銅526が堆積され、導電性構造を形成する。この構造が、銅または他の金属で充填された後、図8Hに示すように、化学機械研磨を用いて表面が平坦化される。

【0077】

接着層の堆積

プレメタル誘電体層と金属間誘電体層との間の接着層として酸化オルガノシランまたはオルガノシロキサン層を含むデュアルダマシン構造が図9に示されている。酸化オルガノシランまたはオルガノシロキサン接着層612は、従来のPSGまたはBPSG層などのプレメタル誘電体層610上に堆積されて、硬化される。好ましくは低k誘電体ポリマー層である金属間誘電体層614が、接着層612上に堆積される。次いで、従来のシリコン酸化物またはシリコン窒化物エッチングストップ616が、従来の方法を用いてパターン化されて、バイア620を画定する。好ましくは低k誘電体ポリマーである第2の金属中間誘電体層622が、パターン化されたエッチングストップ上に堆積されて、パターン化され配線を画定する。次いで、エッチング処理を一回施して、エッチングストップまでの配線を画定し、パターン化されたエッチングストップにより露出した保護されていない誘電体をエッチングして、コンタクト／バイアを画定した後にメタライゼーションを施す。

【0078】

本発明による接着層からなる好適なデュアルダマシン構造が、図10Hに示されており、この構造を形成する方法は、図10Aから10Hに概略的に連続して描かれており、これらの図は、本発明の工程を施して形成された基板の断面図である。

【0079】

図10Aに示すように、パリレン、FSG、シリコン酸化物などの第1の金属間誘電体層710が、製造する構造のサイズにもよるが、約5,000から約10,000Åの厚みまで基板712上に堆積される。図10Bに示すように、酸化オルガノシラン層である低kエッチングストップ714が、約50から約200Åの厚みまで第1の金属間誘電体層710上に堆積される。従来のシリコン酸化物またはシリコン窒化物エッチングストップ716が、約50から約200Åの厚みまで接着層714上に堆積される。酸化有機シラン層である第2の低k接着層718は、約50から約200Åの厚みまでエッチングストップ716上に堆積される。次いで、エッチングストップ716および接着層714、718が

パターンエッチングされ、コンタクト／バイア開口720を画定し、コンタクト／バイアが図10Cに示されたように形成された領域に第1の金属間誘電体層710を露出させる。エッチングストップ716は、従来のフォトリソグラフィを用い、さらにフッ素、炭素および酸素イオンを用いたエッチング処理を用いてパターンエッチングされる。エッチングストップ716および接着層714, 718がエッチングされてコンタクト／バイアをパターン化して、フォトレジストが除去された後、第2の金属間誘電体層722が、図10Dに示すように、約5,000から約10,000 Åの厚みまで第2の接着層718上に堆積される。次いで、図10Eに示すように、好ましくは、フォトレジスト層726で従来のフォトリソグラフィ処理を用いて、第2の金属間誘電体層722がパターン化されて配線724を画定する。次いで、配線およびコンタクト／バイアは、図10Fに示すように、反応イオンエッチングや他の異方性エッチング技術を用いてエッチングされて、メタライゼーション構造（すなわち、配線およびコンタクト／バイア）を画定する。エッチングストップ716や第2の金属間誘電体層722をパターン化するために使用されたあらゆるフォトレジストや他の材料が酸素ストリッピングや他の適当な処理を施して除去される。

【0080】

次いで、メタライゼーション構造は、アルミニウム、銅、タングステン、またはそれらの組合せなどの導電性材料で形成される。銅の抵抗率が低いため（3.1 mW-cmのアルミニウムに対して1.7 mW-cm）、現在では、さらに小さな特徴を形成するために銅を用いる傾向にある。図10Gに示すように、窒化タンタルなどの適切なバリア層728が最初に、メタライゼーションパターンでコンフォーマルに堆積されることにより、周辺のシリコンおよび／または誘電体材料へ銅が移動しないようにする。その後、化学気相成長法、物理気相成長法、電気めっき、またはそれらの組合せのいずれかを用いて、銅が堆積され、導電性構造を形成する。この構造が、銅または他の金属で充填された後、図10Hに示すように、化学機械研磨を用いて表面が平坦化される。

【0081】

デュアルダマシンの集積化

別の好適なデュアルダマシン構造は、層間でのクロストークに対して耐性を備えるために、異なる誘電率のシリコン酸化物層からなり、図11Aから11Dに示されるように堆積され、これらの図は、本発明の工程を施して形成された基板の断面図である。

【0082】

図11Aに示すように、製造する構造のサイズにもよるが、20原子量%よりも多い炭素含有量を有するバイアレベルの誘電体層810が、約5,000から約10,000Åの厚みまで基板812に堆積される。バイアレベルの誘電体層は、10%のデューティサイクルでRFパワーレベルが500Wで N_2O とトリメチルシランを反応させて堆積されることが好ましい。図11Aに示すように、バイアレベルの通電体レベルがバイア及びコンタクト孔814を形成するため従来のフォトリソグラフィを用い、パターンエッチングされて、さらにフッ素、炭素および酸素イオンを用いる高炭素材料のエッチング処理を用いてパターンエッチングされる。

【0083】

図11Bに示すように、製造する構造のサイズにもよるが、10原子量%よりも少ない炭素含有量を有するトレンチレベルの誘電体層822が、約5,000から約10,000Åの厚みまでバイアレベルの誘電体層810に堆積される。トレンチレベルの誘電体層は、30%のデューティサイクルでRFパワーレベルが500Wで N_2O とメチルシランを反応させて堆積されることが好ましい。次いで、図11Bに示すように、低炭素材料には効果があるが、高炭素材料には効果がない従来のフォトリソグラフィ処理およびエッチング処理を用いて、トレンチレベルの誘電体層822がパターンエッチングされて、配線824を画定する。誘電体をパターン化するために使用されたあらゆるフォトレジストや他の材料が酸素ストリッピングや他の適当な処理を施して除去される。

【0084】

次いで、メタライゼーション構造は、アルミニウム、銅、タングステン、またはそれらの組合せなどの導電性材料で形成される。銅の抵抗率が低いため（3.1mW-cmのアルミニウムに対して1.7mW-cm）、現在では、さらに小

さな特徴を形成するために銅を用いる傾向にある。好ましくは図 11C に示すように、窒化タンタルなどの適切なバリヤ層 828 が最初に、メタライゼーションパターンでコンフォーマルに堆積されることにより、周辺のシリコンおよび／または誘電体材料へ銅が移動しないようにする。その後、化学気相成長法、物理気相成長法、電気めっき、またはそれらの組合せのいずれかを用いて、図 11D に示すように、銅 830 が堆積され、導電性構造を形成する。この構造が、銅または他の金属で充填された後、化学機械研磨や他の平坦化方法を用いて表面が平坦化される。

【0085】

本発明を以下の実施例によりさらに記載する。

【0086】

実施例

以下の実施例は、良好なバリヤ特性および密着性を有する酸化オルガノシランまたはオルガノシロキサン膜の堆積を表すものである。この実施例は、化学気相堆積用チャンバを用いて行われたものであり、特に、カリフォルニア州サンタクララのアプライドマテリアルズ社により共に製造され販売されている固体 RF 整合ユニットと 2 個の石英プロセスキットを含む「CENTURA D×Z」システムを用いて行われた。

【0087】

非パルス RF 電力

以下のようなリアクタに流入した反応ガスから、3.0 Torr のチャンバ圧力と 15 EC の温度で、酸化ジメチルシラン膜が堆積された。

【0088】

ジメチルシラン、 $(\text{CH}_3)_2\text{SiH}_2$	55sccm
亜酸化窒素、 N_2O	300sccm
ヘリウム、He	4000sccm

【0089】

基板は、ガス分配シャフヘッドから 600 mil (ミル) の位置に設けられ、20W の高周波電力 (13 MHz) がシャフヘッドに印加されて、酸化ジメチル

シランをプラズマを強化して堆積する。酸化ジメチルシラン材料の誘電率は約2.5であり、疎水性であった。

【0090】

仮定上の実施例

以下の仮定上の実施例は、本発明の酸化オルガノシランまたはオルガノシロキサン膜の堆積を記載したものである。これらの実施例は、前述した実施例で記載した化学気相堆積法に対して書かれているものである。

【0091】

パルスRF電力

以下のようにリアクタ内に流入する反応ガスから、3.0 Torrのチャンバ圧力と15 ECの温度で、酸化1, 3, 5-トリシラノ-2, 4, 6-トリメチレン（環状）膜が堆積された。

【0092】

1, 3, 5-トリシラノ-2, 4, 6-トリメチレン、 $-(\text{SiH}_2\text{CH}_2-)_3-$ （環状） 20sccm

亜酸化窒素、 N_2O 300sccm

ヘリウム、He 4000sccm

【0093】

基板は、ガス分配シャフヘッドから600milの位置に設けられ、50Wのパルス高周波電力（13MHz）がシャフヘッドに印加されて、酸化1, 3, 5-トリシラノ-2, 4, 6-トリメチレン層をプラズマを強化して堆積する。

【0094】

パルスRF電力

以下のようにリアクタ内に流入する反応ガスから、3.0 Torrのチャンバ圧力と15 ECの温度で、酸化1, 3-ジメチルジシロキサン膜が堆積された。

【0095】

1, 3-ジメチルジシロキサン、 $\text{CH}_3-\text{SiH}_2-\text{O}-\text{SiH}_2-\text{CH}_3$ 30sccm

亜酸化窒素、 N_2O 300sccm

ヘリウム、He 4000sccm

【0096】

基板は、ガス分配シャワヘッドから600mil（ミル）の位置に設けられ、50Wのパルス高周波電力（13MHz）がシャワヘッドに印加されて、酸化ジメチルジシロキサン層をプラズマを強化して堆積する。

【0097】

マイクロ波／RF電力

以下のようにリアクタ内に流入する反応ガスから、3.0 Torrのチャンバ圧力と15ECの温度で、酸化1, 3-ジメチルジシロキサン膜が堆積された。

【0098】

1, 3-ジメチルジシロキサン、 $\text{CH}_3\text{-SiH}_2\text{-O-SiH}_2\text{-CH}_3$	30sccm
亜酸化窒素、 N_2O	300sccm
ヘリウム、He	4000sccm

【0099】

チャンバに入れる前に、2000Wのマイクロ波エネルギーを供給するマイクロ波アプリアータにおいて亜酸化窒素が解離される。基板は、ガス分配シャワヘッドから600milの位置に設けられ、50Wの高周波電力（13MHz）がシャワヘッドに周期的に印加されて、酸化ジメチルジシロキサン層をプラズマを強化して堆積する。各周期は、30%の周期毎にRF電力を供給する。

【0100】

前述した記載は、本発明の好適な実施形態に関するものであるが、本発明のその他の実施形態およびさらなる実施形態が本発明の基本的な範囲から逸脱することなく考案されてもよく、本発明の範囲は請求の範囲により決定されるものである。

【図面の簡単な説明】

【図1A】

当業者の周知のプロセスによる基板上に堆積された誘電体層の概略図である。

【図1B】

当業者の周知のプロセスによる基板上に堆積された誘電体層の概略図である。

【図2】

本発明により使用するために構成された例示的CVDプラズマリアクタの断面図である。

【図 3】

図 2 の CVD プラズマリアクタのシステムモニタを示す概略図である。

【図 4】

図 2 の例示的 CVD プラズマリアクタと共に用いられるプロセス制御コンピュータプログラムプロダクトのフローチャートである。

【図 5】

本発明の一実施形態によるギャップ充填プロセスにおけるライナおよびキャップ層を堆積するさいにとる工程を示すフローチャートである。

【図 6 A】

図 5 のプロセスにより基板上に堆積された層の概略図である。

【図 6 B】

図 5 のプロセスにより基板上に堆積された層の概略図である。

【図 6 C】

図 5 のプロセスにより基板上に堆積された層の概略図である。

【図 6 D】

図 5 のプロセスにより基板上に堆積された層の概略図である。

【図 6 E】

図 5 のプロセスにより基板上に堆積された層の概略図である。

【図 7】

本発明のシリコン酸化物層からなるデュアルダマシン構造を示す断面図である。

【図 8 A】

本発明のデュアルダマシン堆積シーケンスの一実施形態を示す断面図である。

【図 8 B】

本発明のデュアルダマシン堆積シーケンスの一実施形態を示す断面図である。

【図 8 C】

本発明のデュアルダマシン堆積シーケンスの一実施形態を示す断面図である。

【図 8 D】

本発明のデュアルダマシン堆積シーケンスの一実施形態を示す断面図である。

【図 8 E】

本発明のデュアルダマシン堆積シーケンスの一実施形態を示す断面図である。

【図 8 F】

本発明のデュアルダマシン堆積シーケンスの一実施形態を示す断面図である。

【図 8 G】

本発明のデュアルダマシン堆積シーケンスの一実施形態を示す断面図である。

【図 8 H】

本発明のデュアルダマシン堆積シーケンスの一実施形態を示す断面図である。

【図 9】

プレメタル誘電体層と金属間誘電体層との間にある本発明のシリコン酸化物層からなる接着層を示す断面図である。

【図 10 A】

本発明のシリコン酸化物を使用して、金属間誘電体膜を従来のエッチングストップに密着させたデュアルダマシン堆積シーケンスを示す断面図である。

【図 10 B】

本発明のシリコン酸化物を使用して、金属間誘電体膜を従来のエッチングストップに密着させたデュアルダマシン堆積シーケンスを示す断面図である。

【図 10 C】

本発明のシリコン酸化物を使用して、金属間誘電体膜を従来のエッチングストップに密着させたデュアルダマシン堆積シーケンスを示す断面図である。

【図 10 D】

本発明のシリコン酸化物を使用して、金属間誘電体膜を従来のエッチングストップに密着させたデュアルダマシン堆積シーケンスを示す断面図である。

【図 10 E】

本発明のシリコン酸化物を使用して、金属間誘電体膜を従来のエッチングストップに密着させたデュアルダマシン堆積シーケンスを示す断面図である。

【図 10 F】

【図 1B】

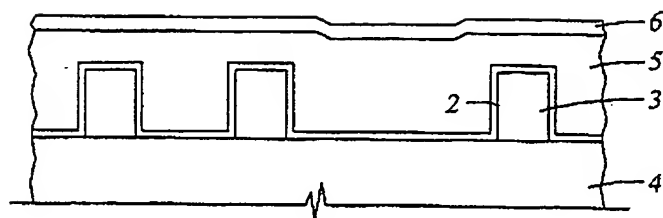


Fig. 1B
(PRIOR ART)

【図 2】

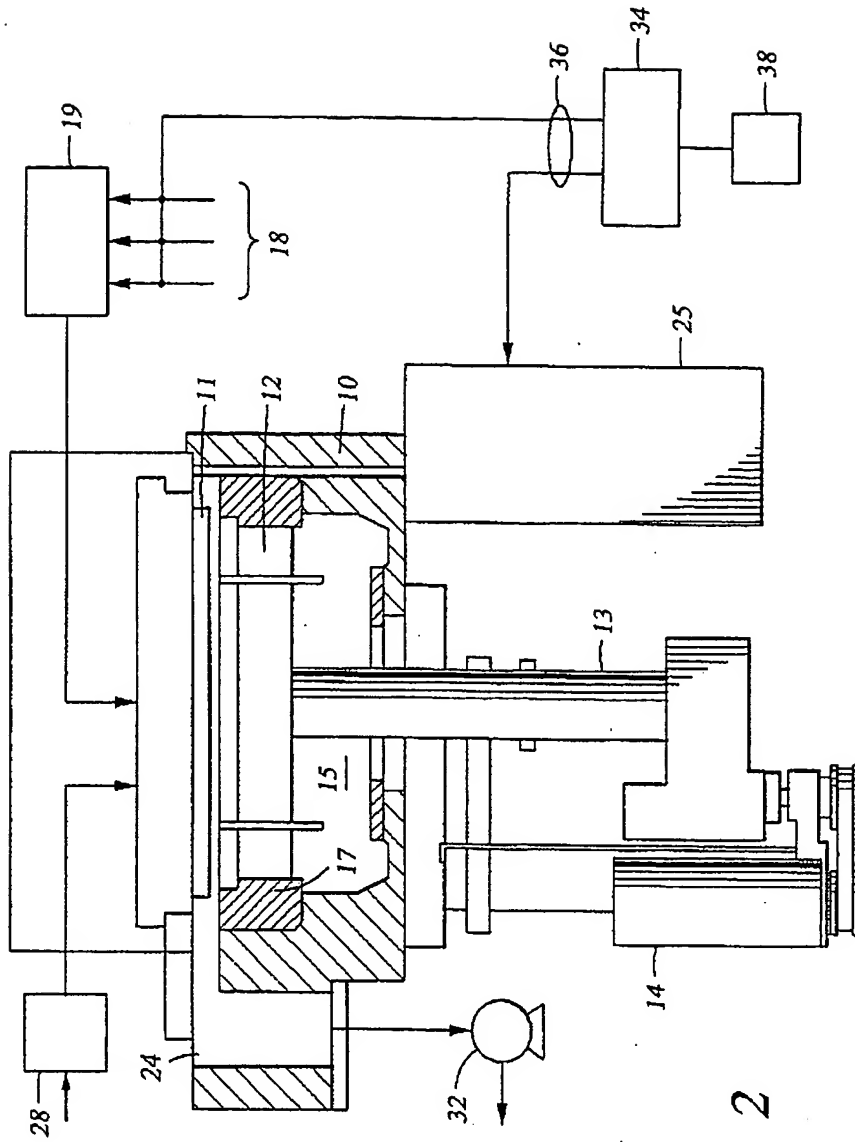


Fig. 2

【図3】

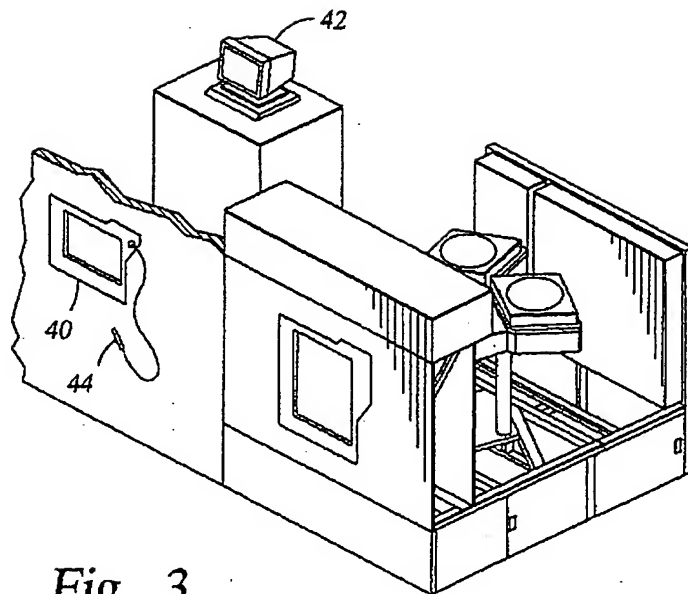
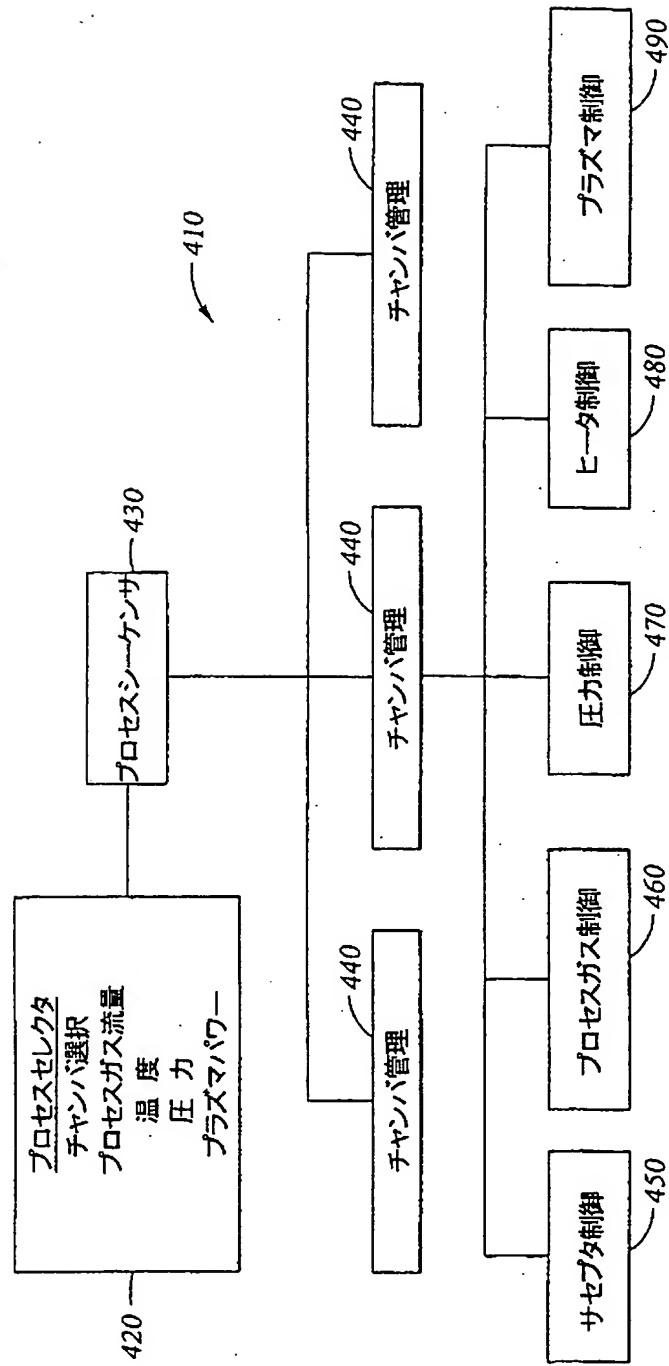
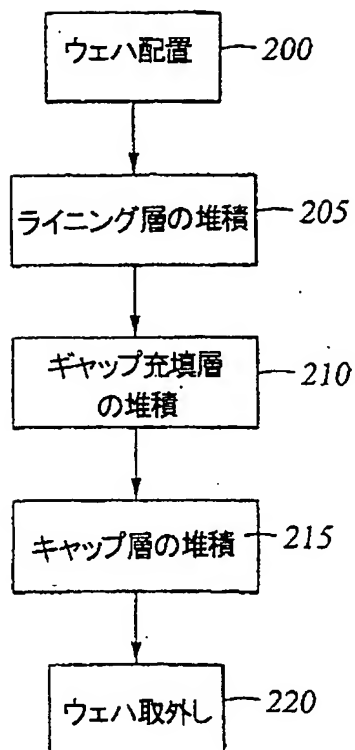


Fig. 3

【図4】

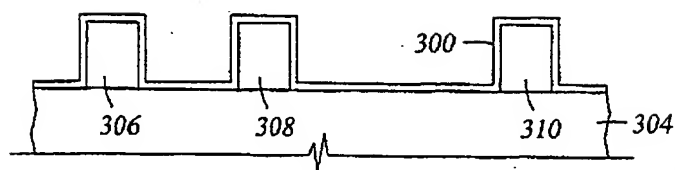


【図 5】



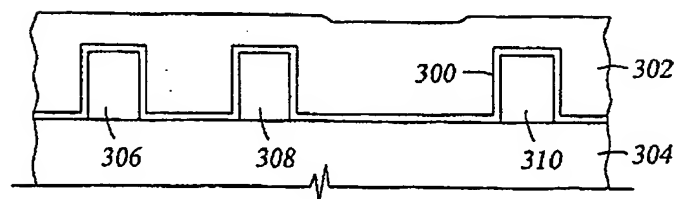
【図 6 A】

Fig. 6A

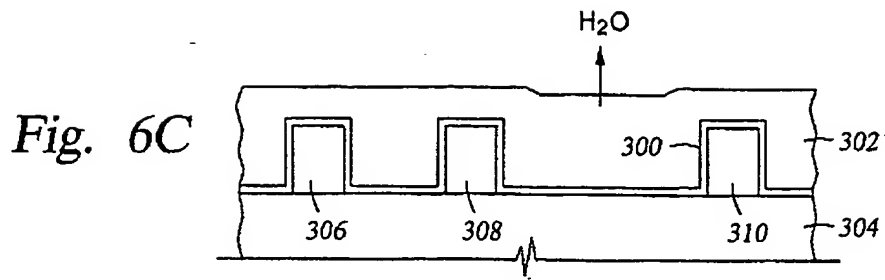


【図 6 B】

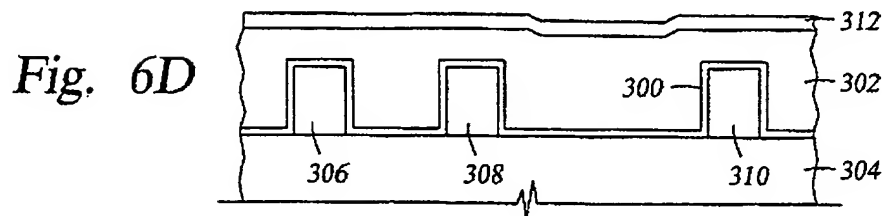
Fig. 6B



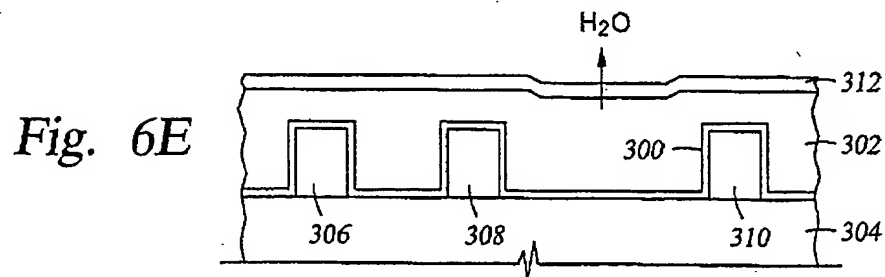
【図 6C】



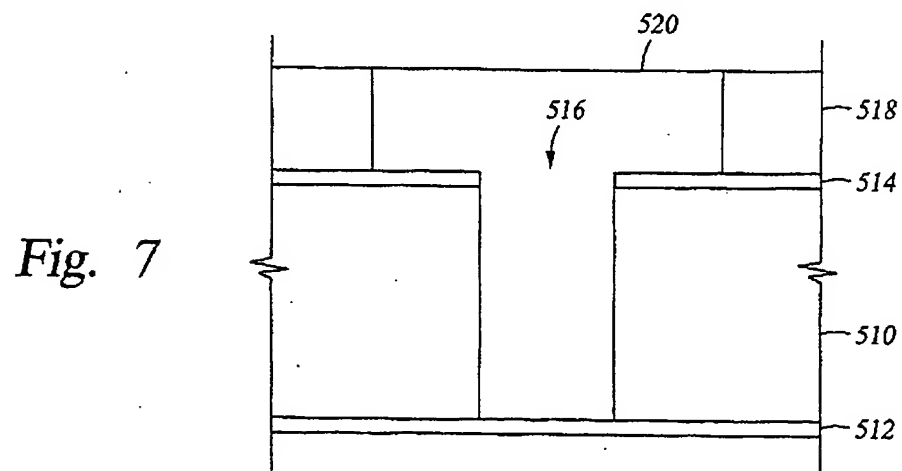
【図 6D】



【図 6E】

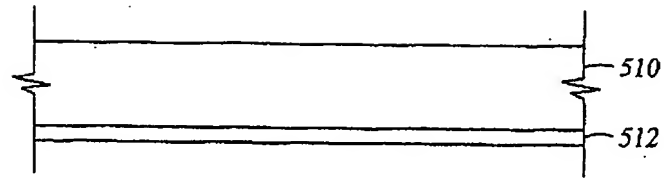


【図 7】



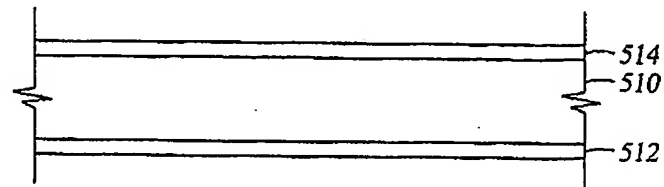
【図 8A】

Fig. 8A



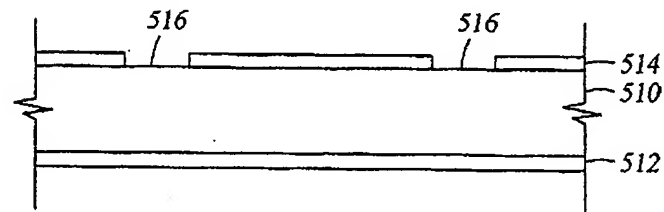
【図 8B】

Fig. 8B



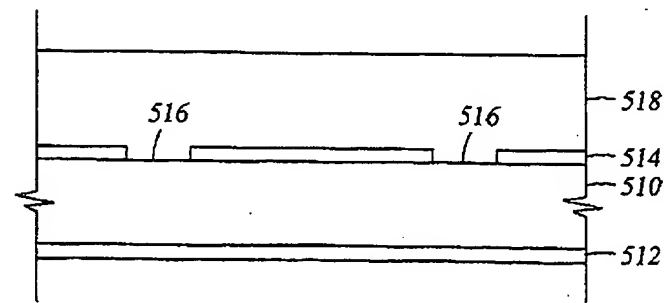
【図 8C】

Fig. 8C



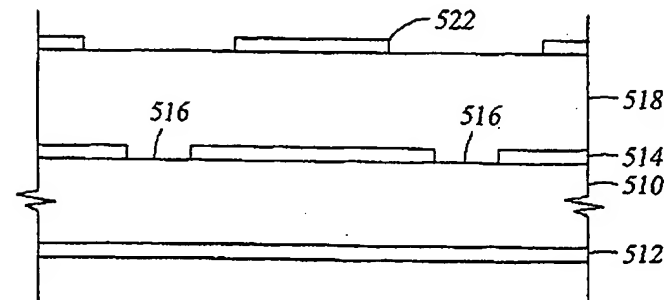
【図 8D】

Fig. 8D



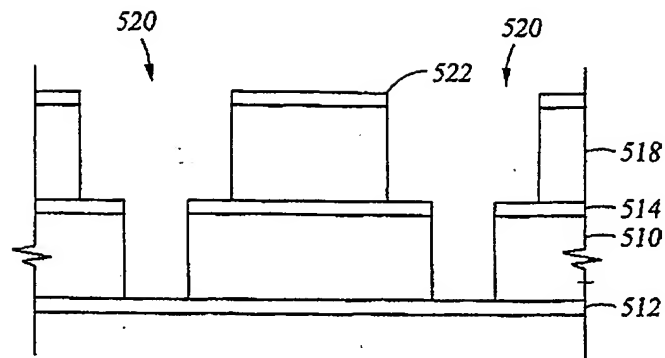
【図 8E】

Fig. 8E



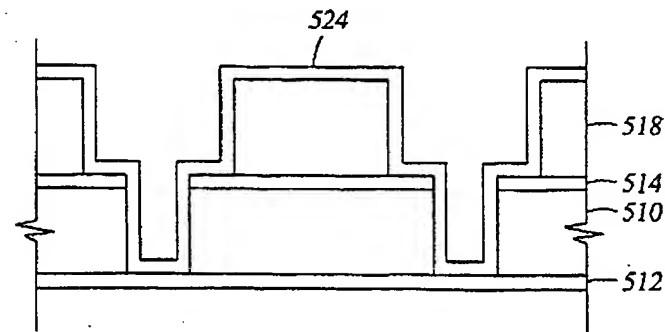
【図 8 F】

Fig. 8F



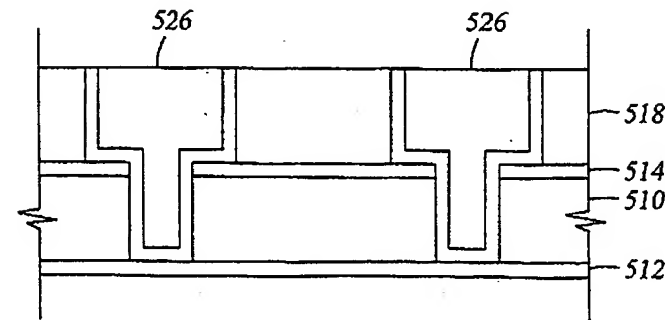
【図 8 G】

Fig. 8G



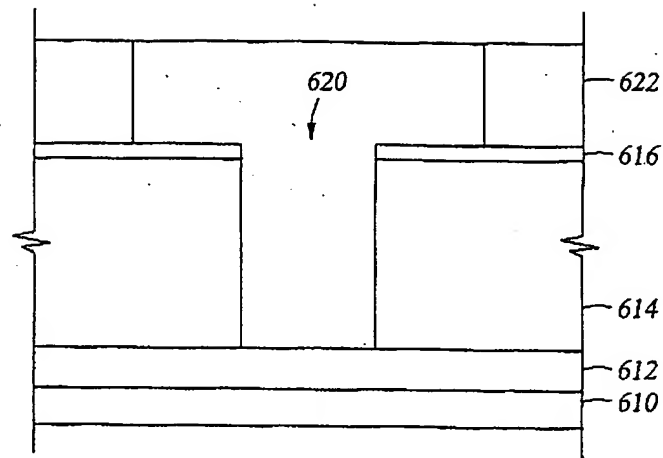
【図 8 H】

Fig. 8H



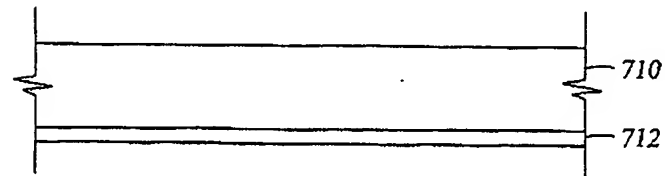
【図 9】

Fig. 9



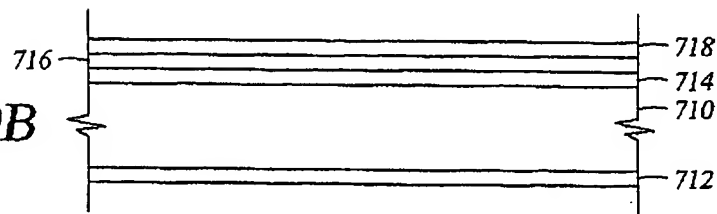
【図 10A】

Fig. 10A



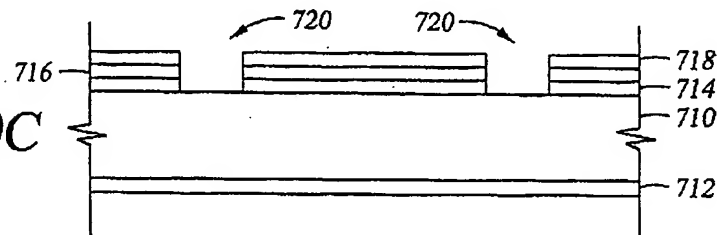
【図 10B】

Fig. 10B

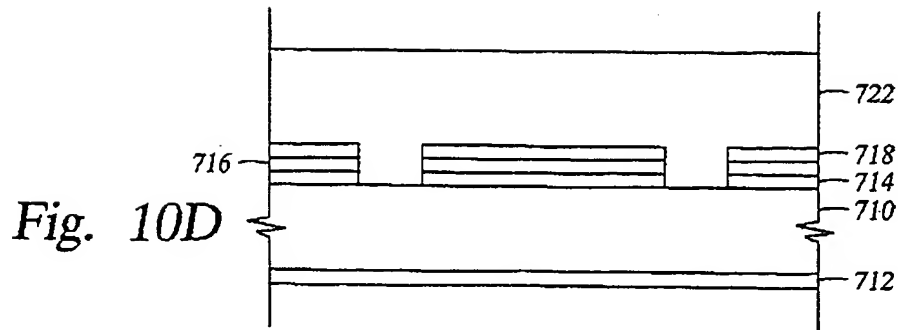


【図 10C】

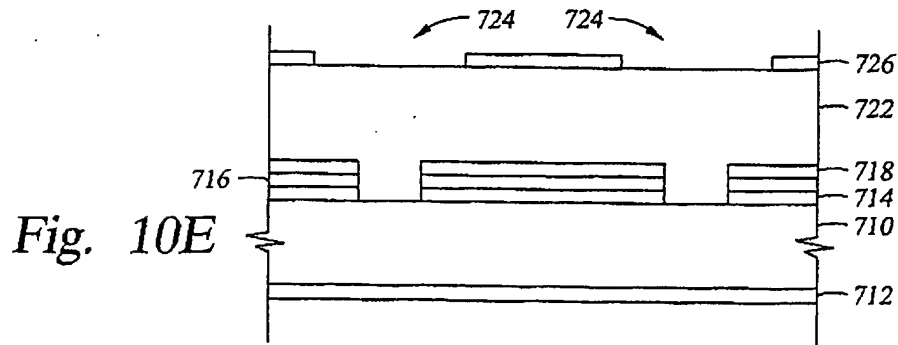
Fig. 10C



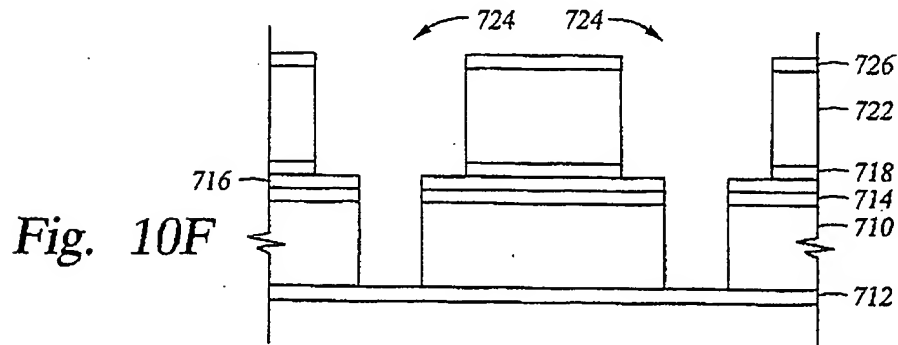
【図10D】



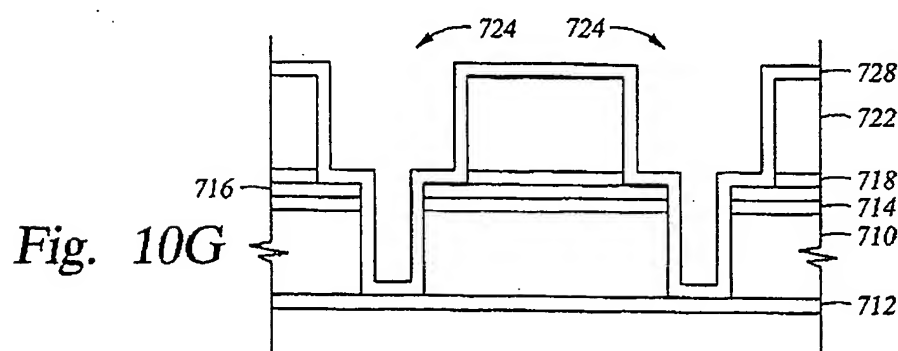
【図10E】



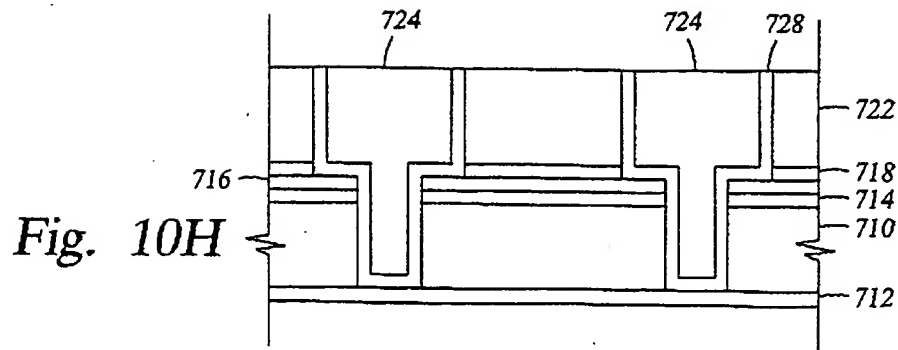
【図10F】



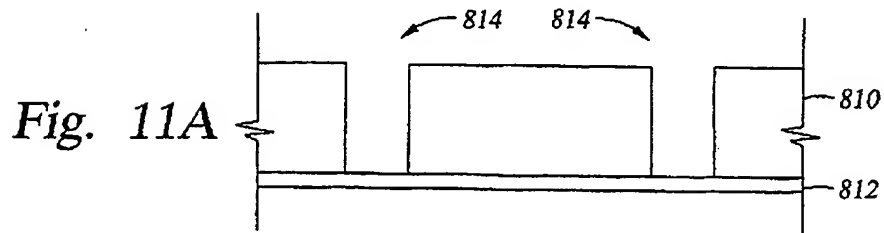
【図10G】



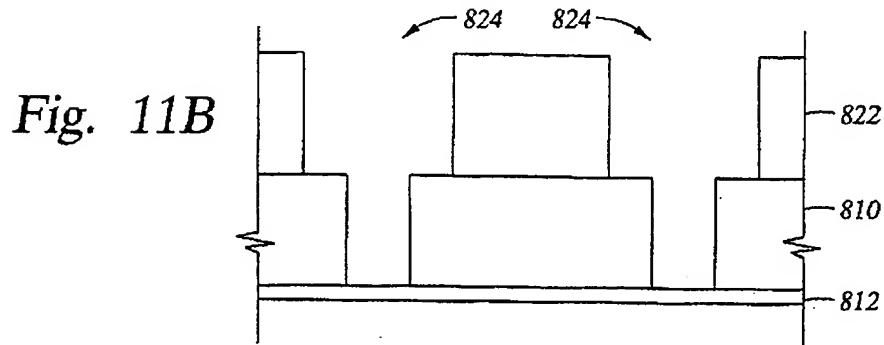
【図 10H】



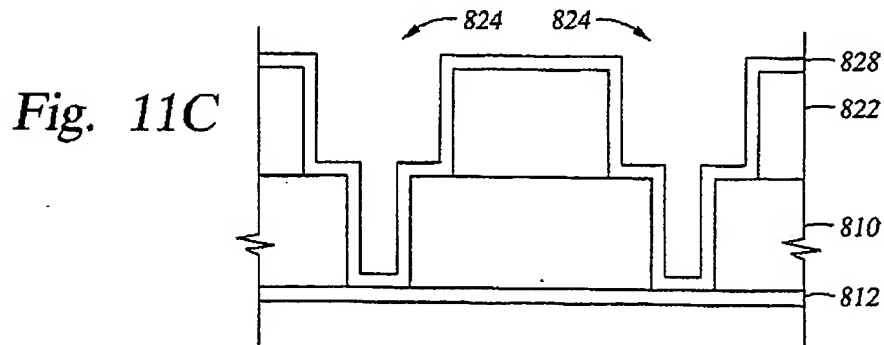
【図 11A】



【図 11B】

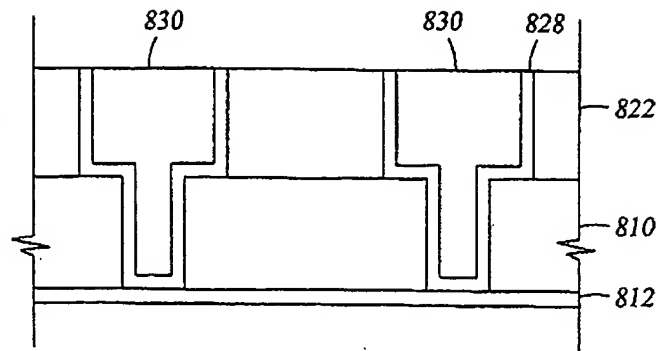


【図 11C】



【図 11D】

Fig. 11D



【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Inter. No. Application No.

PC/US 99/02903

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 6 H01L21/316 C23C16/40 H01L21/768

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 6 H01L C23C

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 0 522 799 A (AMERICAN TELEPHONE & TELEGRAPH) 13 January 1993 (1993-01-13) abstract; table 1	1
A	---	5
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 018, no. 035 (E-1494), 19 January 1994 (1994-01-19) & JP 85 267480 A (RICOH CO LTD), 15 October 1993 (1993-10-15) abstract	1,11
A	---	1-3
	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 013, no. 251 (E-771), 12 June 1989 (1989-06-12) & JP 01 050429 A (SEMICONDUCTOR ENERGY LAB CO LTD), 27 February 1989 (1989-02-27) abstract	

	-/--	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubt on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reasons (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combinations being obvious to a person skilled in the art

"Z" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

31 May 1999

Date of making of the international search report

31.05.99

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.O. Box 5818 Patentstr. 2
NL - 2230 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 345-7050, Tx 31 681 apo nl
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Königstein, C

Form PCT/ISA/210 (revised sheet) (July 1992)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.
PLI/US 99/02903

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P,X	US 5 807 785 A (RAVI TIRUNELVELI S) 15 September 1998 (1998-09-15) column 9, line 39 - line 49; figure 1 -----	1,5,11, 12

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/US 99/02903

Box I Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 1 of first sheet)

This International Search Report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the International Application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful International Search can be carried out, specifically:
3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box II Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 2 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this International application, as follows:

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this International Search Report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this International Search Report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
4. ☒ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this International Search Report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

1-14

Remark on Protest

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.
- ☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

FURTHER INFORMATION CONTINUED FROM PCT/ISA/ 210

1. Claims: 1-14

Deposition of a low dielectric constant film

The prior art (EP522799) describes the deposition of a dielectric film using TEOS and oxygen as process gases and a RF power of 100 - 200 W.

The new features in claims 2-14 are the silicon containing gases.

The special technical features as defined in rule 13(2) PCT, are the silicon containing gases.

The objective problem is to improve the PECVD process.

2. Claims: 15-20

Method of forming a dual damascene structure

The prior art (EP522799) describes the deposition of a dielectric film using TEOS and oxygen as process gases and a RF power of 100 - 200 W.

The new features of claims 15-20 are the manufacturing of a dual damascene structure.

The special technical features as defined in rule 13(2) PCT, are the manufacturing of a dual damascene structure.

The objective problem is to provide a dual damascene structure.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No.

PCT/US 99/02903

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0522799 A	13-01-1993	US 5246887 A	21-09-1993
		JP 2591566 B	19-03-1997
		JP 6151417 A	31-05-1994
JP 05267480 A	15-10-1993	NONE	
JP 01050429 A	27-02-1989	JP 7007759 B	30-01-1995
US 5807785 A	15-09-1998	NONE	

フロントページの続き

- (31)優先権主張番号 09/162,915
(32)優先日 平成10年9月29日(1998. 9. 29)
(33)優先権主張国 米国(US)
(31)優先権主張番号 09/185,555
(32)優先日 平成10年11月4日(1998. 11. 4)
(33)優先権主張国 米国(US)
(81)指定国 EP(AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), JP, KR, SG
(72)発明者 ヨー, ウェイファン
アメリカ合衆国, カリフォルニア州,
マウンテン ヴュー, グレーテル レー
ン 1568
(72)発明者 マンダル, ロバート, ビー,
アメリカ合衆国, カリフォルニア州,
サラトガ, アロワイヨ ドゥ アルグエ
ロ 12472
(72)発明者 ジェン, シンブー
アメリカ合衆国, カリフォルニア州,
クバティノ, ダンバー ドライヴ
20804
(72)発明者 リュー, クオーウェイ
アメリカ合衆国, カリフォルニア州,
キャンベル, ノース サン トーマス
アクワイノ ロード 163
(72)発明者 ルー, ヤンーチェン
アメリカ合衆国, カリフォルニア州,
サン ノゼ, グリーンレー ドライヴ
3671 ナンバー 3
(72)発明者 バーンズ, マイク
アメリカ合衆国, カリフォルニア州,
サン ラモン, サンタ テレサ ドライ
ヴ 12215
(72)発明者 ウイレック, ラルフ, ビー,
アメリカ合衆国, カリフォルニア州,
サンタ クララ, モンロー ストリート
2250 ナンバー 336
(72)発明者 モグハダム, ファルハッド
アメリカ合衆国, カリフォルニア州,
ロス ガトス, オールド アドーブ ロ
ード 276
(72)発明者 イシカワ, テツヤ
アメリカ合衆国, カリフォルニア州,
サンタ クララ, ブラッサム ドライヴ
873

(72)発明者 ブーン, ツェ

アメリカ合衆国, カリフォルニア州,
サニーヴェイル, レイクサイド ドライ
ヴ 1267 ナンバー2077

Fターム(参考) 4K030 AA06 AA09 AA10 AA16 AA24
BA27 BA29 BA42 BA44 BA61
EA01 FA03 FA14 JA16 KA17
KA30 KA41 LA01 LA15
5F058 BA20 BC02 BC04 BF07 BF22
BF23 BF29 BF38 BH01 BJ02
BJ03

【要約の続き】

